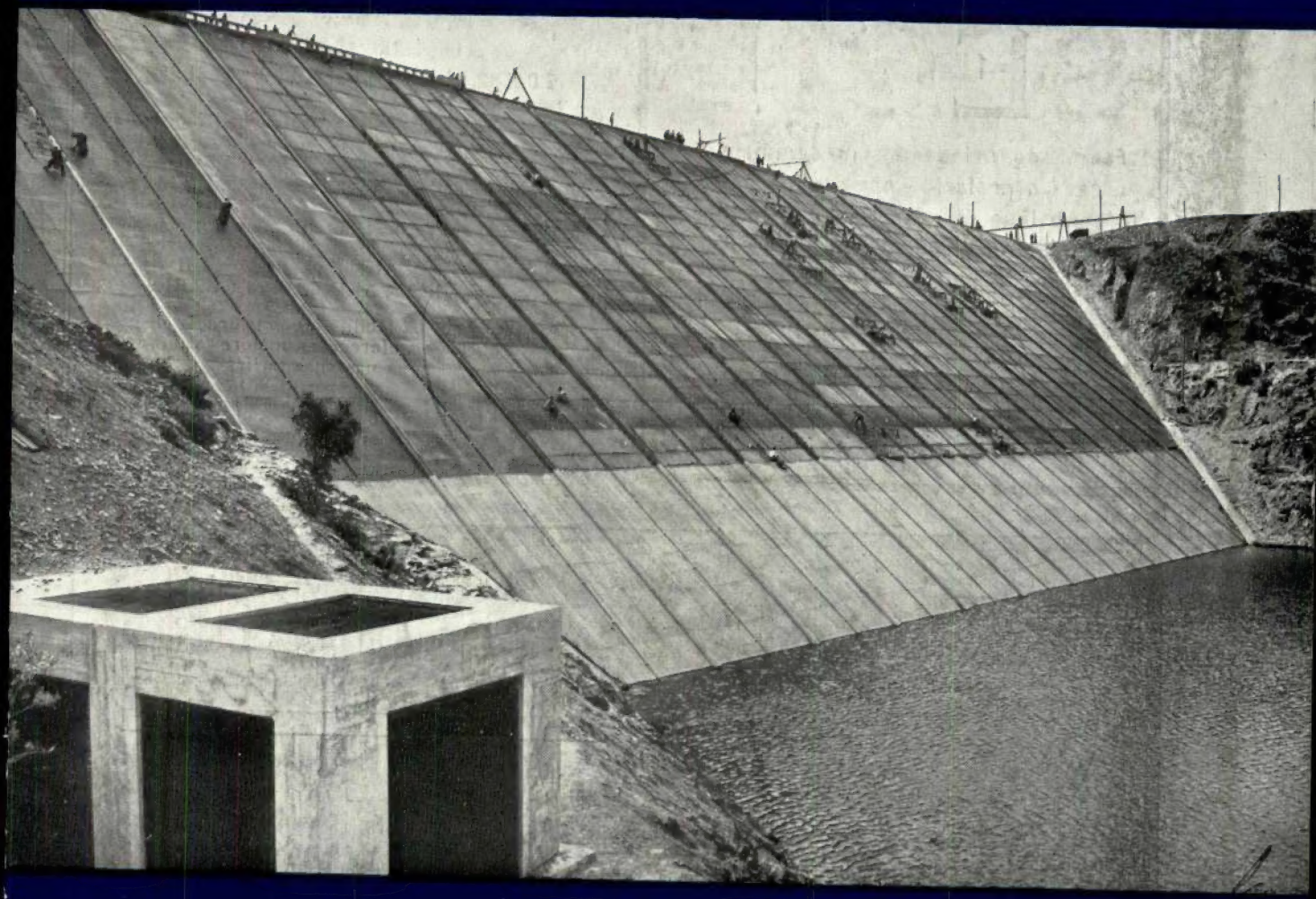
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 192-Maio-1949

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMÉRCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 — 2829 — 2830 — Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LUGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia **"CIMENTO TEJO"**

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
192
Maio — 1949

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 70144 (linha 50)

DIRECTOR
HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES

ADMINISTRADOR
JOSÉ MARIA AVILLEZ

BIBLIOTECÁRIO
HORÁCIO DE CAMPOS NETO

SECRETÁRIO
LUÍZ DA CUNHA FERRAZ

CORPO REDACTORIAL
JOÃO A. A. JUSTO
JOSÉ PIRES CASTANHO
DUARTE N. MENDES DA COSTA

NÚMERO AVULSO 9$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	25$00	45$00	85$00
Colónias Portuguesas e Estrangeiro	—	50$00	90$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

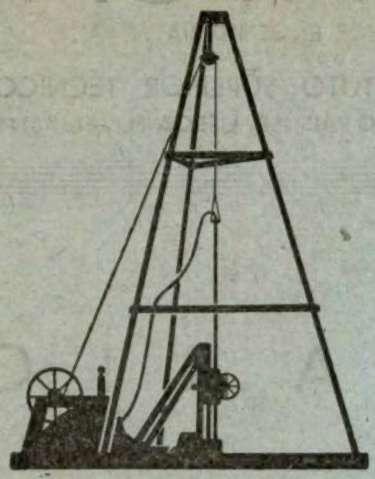
SUMÁRIO

CAPA — Barragem do Pego do Altar — Cortina metálica do paramento de montante.

		Págs.
Formação económica do Engenheiro	Eng.º Francisco de Mendonça Lino Netto	413
Correcções consideradas para o paramento de montante da barragem do Pego do Altar	Eng.º Armando da Palma Carlos	421
Linhas de transmissão de energia eléctrica em corrente alternada. Regime forçado	Eng.º António A. de Carvalho Fernandes	435
Secagem	Eng.º Luís A. de Almeida Alves	457
Na especialidade de Aeronáutica do I. S. T.	Carlos Dias Ferreira	470
Biblioteca		476

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

SONDAGENS RODIO, Limitada



RODIO

Sondagens geológicas, estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geotécnico

Pesquisas de água.

Consolidação e impermeabilização de terrenos e de obras por meio de injecções de cimento, produtos químicos, argila activada, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

Estacas de betão armado, sistema **Ródio** moldadas no solo sem trepidações.

Rebocos comprimidos por «**cement gun**»

Fundações em terrenos difíceis quer por congelação artificial, quer por abaixamento do lençol de água.

As melhores referências no país e no estrangeiro

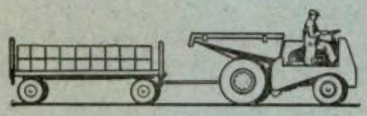
Sócio gerente residente em Portugal:
Walter Weyermann, Eng. civil

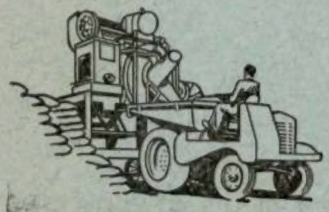
R. S. Mamede ao Caldas, 22, 3.º — LISBOA

Tel. 2 8685

MUIR-HILL DUMPER

TRANSPORTADORES BASCULANTES COM COMANDO ROTATIVO





O método mais económico de transportar materiais a granel, como podem comprovar as unidades já ao serviço em Portugal

///

OS REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

HENRY M. F. HATHERLY, L.DA

RUA DO COMÉRCIO, 8

Telefones 2 2001 e 2 6633 — LISBOA

vos fornecerão todos os detalhes e as suas propostas para entregas rápidas

EVERSHED & VIGNOLES, LTD.

APARELHOS ELÉCTRICOS DE ALTA CATEGORIA

"MEGGER"

ENSAIADORES DE ISOLAMENTO E CONTINUIDADE
ENSAIADORES DE CIRCUITOS. ENSAIADORES DE TERRAS
INSTRUMENTOS DE MEDIDA PORTÁTEIS
INSTRUMENTOS PARA QUADRO, INDICADORES E REGISTADORES
INSTALAÇÕES DE TELE-TRANSMISSÃO E TELE-COMANDO
TAQUÍMETROS ESTACIONÁRIOS. SALINÓMETROS ELÉCTRICOS

APARELHAGEM PARA CENTRAIS ELÉCTRICAS
ESTAÇÕES DE BOMBAGEM
FUNDIÇÕES DE AÇO
TRACÇÃO ELÉCTRICA
DOCAS E NAVIOS
ESTAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO
ETC., ETC.

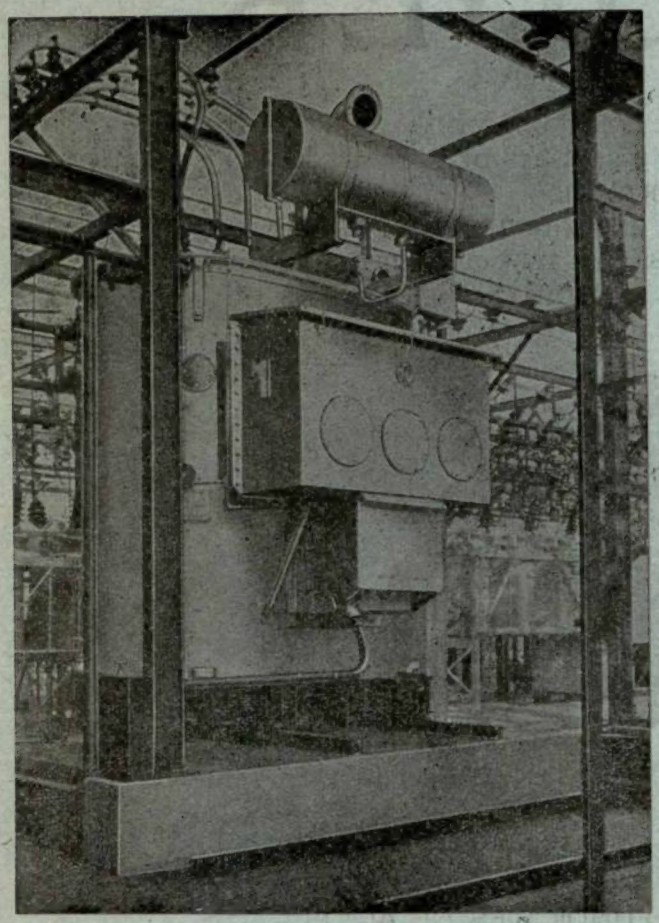
Pedir catálogos e ofertas aos Representantes e Depositários:

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

RUA EUGÉNIO SANTOS, 75 LISBOA Telef. 2 4314

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.



Transformador trifásico com regulação da tensão em carga

Motores e dínamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidro eléctricas. Instalações para melhorar o factor de potência. Tracção eléctrica. Máquinas, Transformadores e Electrodos para soldadura eléctrica. Fornos eléctricos. Automotoras eléctricas e Diesel-eléctricas. Turbinas de vapor. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Cabos e fios. Electrificação de fábricas. Comandos eléctricos especiais para fábricas têxteis, fábricas de papel, etc. Máquinas frigoríficas. Emissores e receptores para T. S. F. Aparelhagem de Electro-Medicina, Instalações de Som.

GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, S. A. R. L.

LISBOA

Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136

AUTOMÁTICA ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

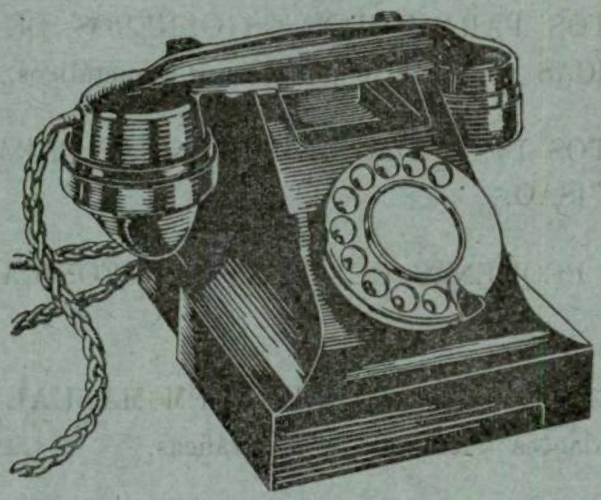
Séde — AV. ANTÓNIO AUGUSTO AGUIAR, 19-3.º
Fábrica — AV. INFANTE D. HENRIQUE (Cabo Ruivo) } LISBOA

A primeira Fábrica de Telefones em Portugal

Fornecedores: Da *Administração Geral dos Correios, Telégrafos e Telefones:* para a automatização do sistema telefónico do País.

Do *Ministério das Colónias:* para a automatização do sistema telefónico das cidades de Luanda, Lourenço Marques, e Beira.

Da *Companhia dos Telefones:* para todo o sistema telefónico das cidades de Lisboa e Porto.



Desde 1947 que os aparelhos telefónicos adquiridos pela Administração Geral dos Correios, Telégrafos e Telefones e pela The Anglo Portuguese Telephone Cº, Ltd., são fabricados em Portugal na FÁBRICA da AUTOMÁTICA ELÉCTRICA e por mão de obra inteiramente Portuguesa.

associada da

AUTOMATIC TELEPHONE & ELECTRIC Cº LTD.

LONDRES ATM **LIVERPOOL**

Standard Electrica

ASSOCIADA

DA

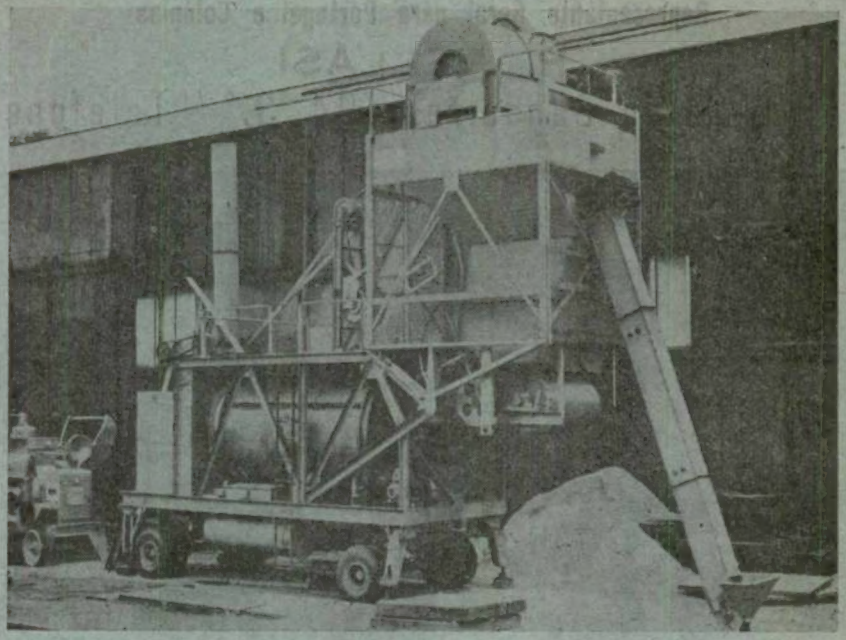
INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORP

- EQUIPAMENTOS PARA TODOS OS GÉNEROS DE COMUNICAÇÕES ELÉCTRICAS por rádio e por circuitos metálicos.
- EQUIPAMENTOS DE TODAS AS POTÊNCIAS PARA RADIODIFUSÃO E TELEVISAO.
- GRANDES E PEQUENAS CENTRAIS TELEFONICAS, manuais e automáticas.
- TODO O GÉNERO DE APARELHAGEM MANUAL E AUTOMÁTICA para instalações telefónicas e telegráficas.
- FORNOS ELÉCTRICOS desde pequenas potências, com aquecimento por correntes de radiofreqüência.
- SISTEMAS PATENTEADOS, DE ANTENAS de alta eficiência.
- CABOS DE TODOS OS TIPOS para comunicações em tôdas as freqüências e para transporte de energia.

Telefone 2 3111/2/3 Rua Augusta, 27 LISBOA

Instalações móveis para o fabrico de asfalto

(STOTHERT & PITT, LTD.)



Instalações para fabrico de betão

(STOTHER & PITT, LTD.)

Muito fáceis de montar, desmontar
e deslocar

Representantes exclusivos:

E. PINTO BASTO & C.ª L.DA

Stand de Exposições: Trav. dos Remolares, 5 — LISBOA

No Porto: KENDALL, PINTO BASTO & C.ª, L.DA

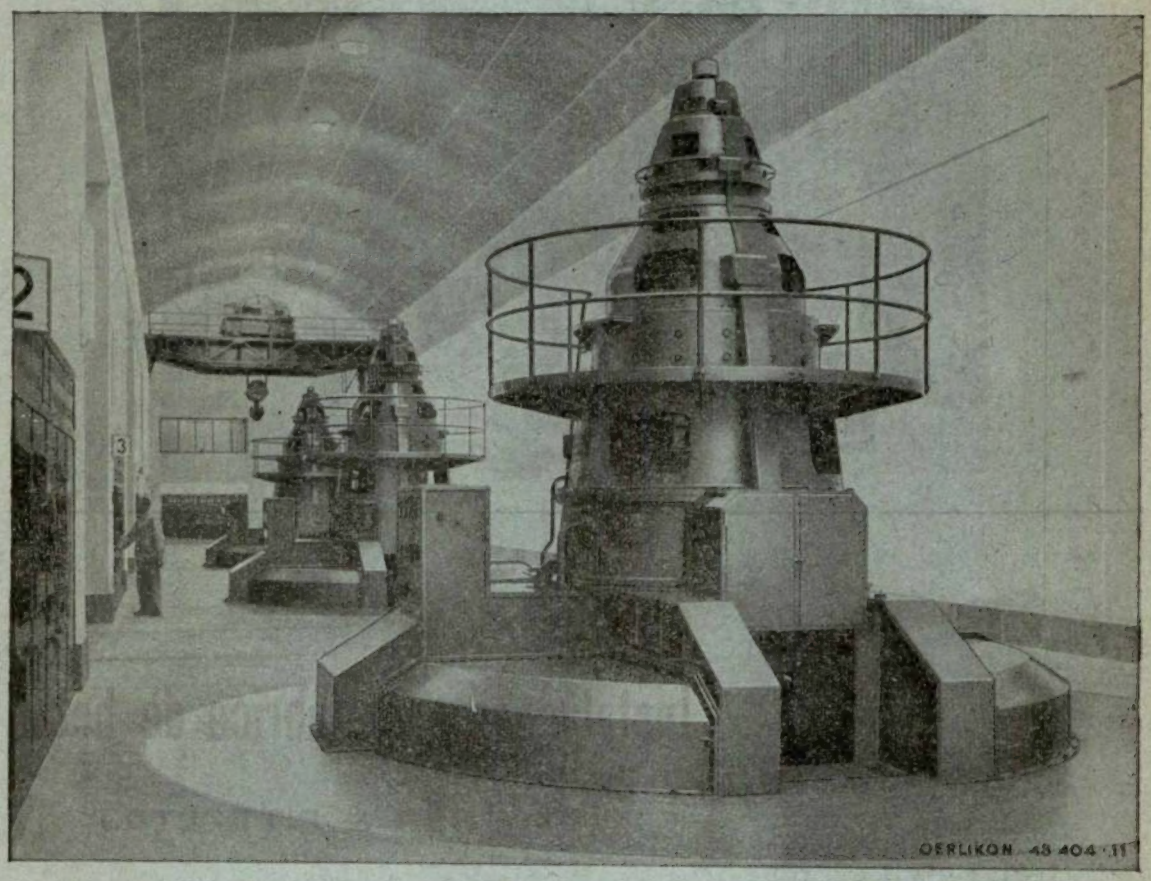
OERLIKON

Máquinas e aparelhos eléctricos de todo o género

Representante Geral para Portugal e Colónias

P. BELLASI

Porto // Rua Sá da Bandeira, 494, 3.° // Telefone 21968



Central subterrânea de Innertkirchen (Suíça), equipada com três alternadores Oerlikon, de 52.250 kVA 428 r. p. m., cada um. Estes alternadores verticais são os geradores mais potentes da Suíça

PRODUTOS OERLIKON

Equipamentos eléctricos completos para centrais termo e hidroeléctricas, subestações e instalações de distribuição. Accionamentos eléctricos especiais para todas as indústrias. Geradores, motores, transformadores, reguladores de indução, comutadores, rectificadores de vapor de mercúrio, equipamentos para soldadura eléctrica por arco. Electrolizadores para a produção de hidrogénio e oxigénio. Aparelhos de manobra e protecção para alta e baixa tensão, reguladores automáticos de tensão, relés, pára-raios. Turbinas de vapor e turbo-geradores, ponte-gruas, compressores. Equipamentos eléctricos para locomotivas, automotoras, veículos diesel-eléctricos, locomotivas de acumuladores, tranvias, troleibus, funiculares e teleféricos, etc.

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

ZURICH-OERLIKON (SUIÇA)

TÉCNICA

HENRIQUE ESTÁCIO MARQUES
DIRECTOR

ANO XXV - N.º 192 MAIO 1949

FORMAÇÃO ECONÓMICA DO ENGENHEIRO

PELO ENG.º ELECT. (I. S. T.) FRANCISCO DE MENDONÇA LINO NETTO

C. D. 338 : 62

Tese apresentada ao 2.º Congresso Nacional de Engenharia

I — Formação Geral do Engenheiro

As «Federated American Engineering Societies», depois de larga troca de impressões, definiram a engenharia como a «*ciência de controlar as forças e utilizar os materiais da natureza em benefício do homem, e a arte de dirigir as actividades humanas em relação com as mesmas* (1).

A definição é demasiado lata pela necessidade de abranger em poucas palavras os vastíssimos campos da engenharia, mas pode servir de base às considerações que se vão seguir, se compreendermos que as *forças e os materiais da natureza* são apenas aqueles que tradicionalmente caem debaixo do domínio da engenharia, quase sempre com exclusão da agronomia, biologia, etc.

Interessa-nos chamar a atenção para o facto de a engenharia ser simultâneamente uma *ciência* e uma *arte,* isto é, um conjunto de conhecimentos e uma inclinação especial do espírito, uma intuição própria.

Por outro lado, a função da engenharia é não só o *contrôle das forças e materiais,* mas também a *organização e direcção das actividades humanas correspondentes,* o que muitas vezes se esquece.

É que estes dois aspectos estão de tal maneira interligados que seria impossível, na maioria dos casos, limitar-nos a um deles sem prejudicar o outro.

(1) Citado pelo eng. T. J. Hoover em «Economia Minera». Tradução castelhana, 1946, pág. 19.

De acordo com a definição citada, as funções do engenheiro são variadíssimas, algumas vezes reunidas num mesmo indivíduo, mas cada vez mais com tendência a separarem-se, constituindo outras tantas especializações, exigindo aptidões, conhecimentos e preparação diferentes!

Importa ter presente este facto, ao analisarmos o tipo de formação a dar ao engenheiro, pois muitas vezes os mal-entendidos resultam de um ponto de vista demasiado unilateral em relação aos vários aspectos a considerar.

Duma maneira geral, podemos distinguir 3 tipos fundamentais de actividades para o engenheiro:

a investigação,
a organização,
a exploração.

1 — *A investigação* — descoberta e aperfeiçoamento dos métodos e processos.

A investigação técnica pode tomar todos os cambiantes, por vezes essencialmente prática e exigindo apenas uma intuição peculiar — é o caso dos pioneiros da revolução industrial — quase sempre necessitando, em maior ou menor grau, duma sólida preparação científica. Em certos casos mesmo, o trabalho de investigador técnico confunde-se com o de investigador científico.

Nenhum país pode ter uma indústria próspera, se se limitar a copiar simplesmente o que outros fazem.

Por isso, nos países progressivos, as grandes émpresas industriais mantêm institutos de investigação que rivalizam com os das melhores universidades, servidos pelo seu corpo de físicos, químicos e matemáticos, a par dos engenheiros pròpriamente ditos. A função de engenheiro, nestes casos, consiste numa especial intuição de aplicação prática e económica que, no meio da pura investigação, o afasta dos terrenos áridos da especulação, orientando-o sempre à satisfação das necessidades práticas ([1]).

2 — *A organização* — coordenação dos elementos técnico-económicos para criar ou melhorar uma exploração.

Não se trata já do aperfeiçoamento dos métodos e processos, mas das condições da sua realização prática dentro do quadro técnico e económico existente, promovendo uma nova indústria, melhorando outra, etc.

A superioridade do engenheiro neste campo está nos seus conhecimentos tecnológicos e preparação científica que, melhor que a indivíduos de outra formação, lhe permite relacionar todos os aspectos do problema.

O nosso atraso industrial tem sido devido, em grande parte, à falta de conhecimentos técnicos dos industriais, os quais, em geral, são incapazes de conhecer as possibilidades ou dificuldades duma nova indústria, limitando-se a fazer mais fábricas de tecidos

---

([1]) Ver, por exemplo, «*The Research Laboratory of the General Electric Company*» J. Apl. Phys. 1937, e prefácio de F. Oerderlin ao número da «*Revue Techique Sulzer*» consagrado à inauguração do Laboratório Central de Investigação da Casa Sulzer, Janeiro de 1945.

onde já há fábricas de tecidos, mais fábricas de cutelaria onde já elas existem e assim por diante.

Por isso hoje se considera esta actividade essencialmente técnica e a própria definição que adoptamos assim o indica.

3 — *A exploração* — manutenção do funcionamento normal da actividade industrial.

Dentro desta actividade compreende-se a elaboração de projectos que, quando não supõem a criação de novos precessos, é ainda uma actividade de exploração, e a orientação da produção.

É a função mais simples do engenheiro: executar apenas o que uns lhe ensinaram a fazer e para o que outros lhe criaram possibilidades.

Em Portugal a missão do engenheiro tem sido quase exclusivamente a de exploração: a organização é entregue a técnicos estrangeiros e a investigação técnica pode dizer-se que não existe. É uma triste realidade com que não nos podemos conformar, se queremos pelo menos manter o já parco nível de vida da nossa gente, como bem o mostra o prof. eng. Ferreira Dias na sua «*Linha de Rumo*» e eu direi mais se queremos atingir uma actividade cultural de acordo com o nosso nome de povo civilizado.

Urge, por isso, acentuar a formação dos engenheiros no sentido das outras duas actividades: *investigação técnica e organização.*

A distinção das 3 funções apontadas ao engenheiro não é completa: um bom engenheiro não pode cingir-se, exclusivamente, a uma qualquer delas e cada uma aparece sempre mais ou menos matizada com aspectos das outras.

Nomeadamente a exploração, a não ser no seu aspecto mais elementar em que não precisa de estar entregue a um engenheiro com curso superior, exige sempre nos seus pormenores, alguma coisa de investigação e de organização.

Por isso, a preparação de uma escola superior de engenharia terá de orientar-se simultâneamente sob os 3 aspectos, focando o carácter complementar de todas elas e deixando à parte activa do próprio aluno na escola, à inclinação particular de cada um e muitas vezes às possibilidades que o acaso da vida prática proporciona, aquela diferenciação que reconhecíamos há pouco indispensável.

Parece princípio assente que um engenheiro, no pleno significado da sua profissão, não pode ser ùnicamente formado na escola, por mais bem equipada e orientada que ela seja. Só algum tempo de actividade e estudo, dentro de determinado ramo, o podem pôr em contacto com os métodos concretos de resolução de problemas; e, mesmo assim, nunca de forma definitiva, pois sempre terá de se ir actualizando com novos conhecimentos.

As normas concretas de actuação prática imediata podem constituir a base de formação dos engenheiros de curso secundário, sempre de carácter subalterno e de execução, já porque os problemas são mais simples e a certo modo sempre os mesmos, já porque não lhes compete pròpriamente senão a função elementar de exploração.

Ao engenheiro, pelo contrário, compete um campo muito vasto, não apenas aplicar receitas, mas resolver problemas novos e muitas vezes criar os problemas que terá de resolver. Isto exige, a par duma preparação que lhe dê os elementos gerais, uma formação e sentido técnico que constituem mais uma educação do que a aprendizagem concreta de determinadas regras.

Podemos afirmar que a formação escolar do engenheiro deverá constar essencialmente de:

1 — *Preparação científica* — uma boa preparação nas ciências aplicadas e tecnológicas com o conhecimento não só dos resultados, mas também dos respectivos métodos de investigação, prática de laboratório e gabinete, de maneira a mover-se à vontade no campo intuitivo próprio destas ciências.

2 — *Formação técnica* — aquisição duma sólida mentalidade de aplicação, mais de carácter educativo do que informativo, adquirida sobretudo pelo conhecimento concreto dos métodos correntes de trabalho, o hábito da importância relativa dos pequenos pormenores na prática, o contacto directo com a vida da indústria.

3 — *Formação económico-social* — atendendo, sobretudo, à segunda parte da definição de engenharia adoptada atrás — *organizar e dirigir as actividades humanas correspondentes* —, são indispensáveis ao engenheiro noções que lhe permitam relacionar a técnica com a sua função económica, social e humana, qualidades de comando e disciplina que lhe permitam desempenhar a sua função de dirigente social.

Destas três preparações, a primeira corresponde mais directamente à função de *investigação,* a segunda à de *exploração,* a terceira à de *organização,* mas todas elas são indispensáveis para fazer um bom engenheiro em qualquer destas actividades.

O que tivesse só a primeira seria um bom cientista, a segunda isolada formaria um bom capataz, a terceira, só por si, nunca faria um engenheiro, quando muito um mero industrial. É da fusão e complementariedade das três que resulta a formação típica do engenheiro.

À escola compete colocar o futuro engenheiro perante os 3 tipos de actividade, dando-lhe a orientação especial de espírito e a preparação geral necessária para que se adapte o mais ràpidamente possível à vida prática.

Evidentemente, faz parte da formação técnica da escola o aproximar-se o mais possível das condições reais da indústria, fazer um estudo sistemático e crítico dos vários métodos, sentir as dificuldades práticas que a técnica encontra e procura vencer dentro das possibilidades do nosso país; tudo isto, acentuando sempre mais o aspecto de formação de espírito no sentido de técnica do que como instrução de receitas concretas.

Por outro lado, a indústria precisa, para ser progressiva, de manter um contacto directo com a escola, na esperança de melhorar os seus processos, receber dos seus gabinetes e laboratórios o espírito inovador que o dia a dia lhe não pode dar. Isso permitirá que o ambiente da escola reflita as preocupações práticas da vida exterior e os estudantes sintam que na escola começam já a viver a indústria.

Em resumo:

O engenheiro tem de receber na escola o espírito renovador e de iniciativa. Só a prática lhe pode dar completamente a noção das dificuldades e o espírito conservador suficiente para obter um equilíbrio.

II — Formação Económica do Engenheiro

Assentes estes princípios, interessa esclarecer o papel que os estudos económicos têm a desempenhar no quadro geral da formação do engenheiro.

É evidente que o que indicamos sob a designação de formação económico-social exige conhecimentos sólidos de economia, organização e até psicologia aplicada. Não se trata duma preparação completa, teórica e sistemática, como para os respectivos especialistas. Tudo deverá ser enquadrado dentro do ambiente da vida industrial, dentro das realidades de cada dia, de acordo com a mentalidade técnica que importa firmar acima de tudo. Não se trata de um suplemento de conhecimentos fora da vida industrial, mas antes de uma interpretação económica, social e humana dos problemas do engenheiro.

Com este critério, compreendem os cursos de engenharia, em Portugal, duas cadeiras — *Economia Política e Direito Industrial* e *Contabilidade e Administração* — cujo alcance nunca foi bem compreendido pela maior parte dos alunos e mesmo de alguns professores, que as consideram apenas como uns elementos de cultura geral impingidos à força ao engenheiro, a certo modo como os estudos de latim que fazíamos no liceu. Não é um polimento de cultura geral, o que seria bom mas extemporâneo; trata-se de uma questão de formação profissional, o que é indispensável.

O estrangeiro dá-nos o exemplo, acentuando, cada vez mais, a importância dos estudos destas cadeiras e com tanto mais autoridade quanto é certo que os elementos que mais especialmente temos à mão provêm dum povo profundamente prático e de mentalidade oposta ao que podemos chamar cultura geral: os Estados Unidos da América.

Já em 1930 a «*Society for the Promotion of Engineering Education*» trazia a público que era sentimento geral dos engenheiros que a mais grave omissão da sua educação técnica era não lhes terem sido acentuados os aspectos económicos da engenharia ([1]).

Os programas das principais escolas de engenharia americanas, que consultamos, ([2]) têm, conforme os cursos, várias cadeiras de economia, organização, administração, sociologia e psicologia, existindo até uma especialidade de Organização Industrial em que estes assuntos assumem importância de primeira plana ([3]).

Apesar disso, ainda recentemente, o «*Commitee on Engineering Education*» da «*American Society of Civil Engineers*» insistia, de novo, neste aspecto da formação técnica e aconselhava que as disciplinas respectivas ocupassem 20 % da duração total do Curso ([4]).

Também em Portugal, em 1939, o prof. eng. Vicente Ferreira patrocinava a criação de mais duas cadeiras para estes estudos no Instituto Superior Técnico, mesmo à custa de algumas cadeiras de aplicação ([5]).

No entanto, as duas citadas cadeiras, preenchem quando muito, cerca de 3 % da duração total do Curso.

([1]) Citado pelo prof. eng. E. L. Grant. in «*Principles of Engineering Economy*».

([2]) Biblioteca do Instituto Superior Técnico.

([3]) Ver também «*O ensino de engenharia numa universidade americana*». Eng. Fernando Vasco Costa «Técnica», Abril de 1948.

([4]) Citado pelo Eng. Manuel Rocha in «*A Física e Engenharia Civil*».

([5]) «*O Engenheiro, Dirigente Social*», «Técnica», Julho de 1939.

Importa, pelo menos, restabelecer, no conceito das escolas e na mentalidade dos alunos, a importância destas cadeiras e adaptá-las à sua função, não só de forma a suscitarem o interesse do futuro engenheiro, mas também a desempenharem o papel que lhes compete na sua formação técnica.

Parece-me, porém, que podemos ainda ir mais longe. As cadeiras supracitadas não são apenas indispensáveis à formação económico-social dos engenheiros. Dentro da orientação dos nossos cursos, é possível e necessário transformá-las em elementos fundamentais de formação técnica.

Como dissemos atrás, as chamadas cadeiras de aplicação têm sobretudo a função de adaptar a mentalidade do aluno às condições da vida prática que constituem ambiente próprio do engenheiro e de o habituar às dificuldades de cada dia, à relatividade das soluções que tem de adoptar.

É pelo conhecimento das máquinas ferramentas que o futuro engenheiro mecânico cria a mentalidade profissional. É sempre em face delas e das suas possibilidades que ele resolverá muitos dos seus problemas.

Ora todos nós sabemos a importância que, na técnica de todos os dias, desempenham as considerações de ordem económica, de organização, ou até social. Assim é que o emprego de determinada máquina é muitas vezes condicionado por questões de custo, gastos, amortizações, utilização, etc.

A diminuição de tempo de fabrico constitui elemento fundamental de embaratecimento que, na maioria das vezes, não pode ser esquecido. A elaboração dos projectos mais ou menos completos depende da importância da obra os justificar ou não econòmicamente.

Se todos estes aspectos forem estudados à luz duma mentalidade nìtidamente técnica, dentro e a par das outras considerações de carácter técnico, não há dúvida que constituem elemento fundamental da formação do engenheiro.

No fim de contas, na escola pretende-se habituar o aluno a ter sempre presentes as questões ligadas aos materiais, às ferramentas, à mão de obra. É este o âmbito das cadeiras de aplicação. E esquece-se que, a par destas e tanto como elas, importa considerar o capital que está em jogo. Todo o engenheiro, na prática, se habitua a ter em conta estas considerações. Todavia, a escola não o habituou a enfrentá-las, isto é, não lhe deu uma formação técnica completa. Só depois de alguns anos de actividade, o engenheiro pode adquirir, à própria custa, as respectivas noções.

Em certas cadeiras de aplicação fazem-se algumas análises de carácter técnico-económico o que mostra a importância que têm para a preparação técnica do engenheiro. É o caso das questões da ponta, do diagrama de carga, da utilização, nas centrais eléctricas, etc.

Dentro desta ordem de princípios, um exame atento de todas as actividades técnicas é elemento principal da preparação técnica do engenheirò.

A título de exemplo, apresenta-se a seguir o enunciado de alguns problemas que concretizam as ideias apontadas.

Organização industrial:

local da instalação

grandeza e tipo da instalação

ciclo de trabalho — tempo de circulação
distribuição dos serviços

Salários:

tipos de salários
previsão de tempos
valorização do trabalho

Apetrechamento industrial:

o tipo, a grandeza e o número de máquinas
forma de energia
diagrama de utilização, amortização, gastos
reservas
normalização de máquinas e motores

Estudo económico de tracção eléctrica:

a circulação e o tráfego
vários tipos de tracção

Possibilidades industriais de Portugal:

novas indústrias
remodelação das actuais
dificuldades técnico-económicas das nossas indústrias em comparação com as concorrentes.

III — Conclusão

Como conclusão do que ficou exposto, abreviadamente podemos resumir:

1 — A formação económica do engenheiro, dentro duma mentalidade técnica e enquadrando todos os conhecimentos de aplicação, é ponto fundamental para que a engenharia possa estar à altura da definição que citamos: «arte de dirigir as actividades humanas correspondentes».

2 — Um estudo económico da organização e certos aspectos de economia industrial, enquadrados numa sólida mentalidade técnica, contribuem não só para o que chamamos formação técnico-económica do engenheiro, mas também para a sua formação técnica pròpriamente dita e são do domínio exclusivo do engenheiro.

Uma e outra devem fazer parte dos programas escolares e, enquanto se não julgar conveniente a criação de outras cadeiras, devem as que existem ser orientadas neste sentido de maneira a constituírem, a certo modo, cadeiras técnicas. Só assim poderemos formar engenheiros completos à altura da sua importante missão social, capazes de orientar o país

no sentido da técnica e de colocar a técnica ao serviço do país de acordo com a sublime descrição de Steinman:

«O Engenheiro é o dominador das leis da natureza. Com sólidos fundamentos de matemática, ciência e economia adapta os materiais e as forças naturais ao seu objectivo e ergue a estrutura da civilização.

Com visão, espírito criador e integridade procura aumentar o conforto, riqueza e segurança dos seus semelhantes. Ataca os problemas com a visão do pioneiro, a integridade do cientista, o rigor do matemático, o sentido prático do homem de negócios, o espírito criador do inventor e a coragem do conquistador.

É visionário e constante. Orienta a sua visão para as realidades duradouras. É explorador da civilização. Derruba barreiras, edifica pilares, estabelece contactos e prepara o caminho ao comércio e progresso humano. É o protagonista da eficiência. Reduz os esforços, diminui os desperdícios e aumenta a produção. É o criador duma riqueza nacional. Drena os pântanos, cultiva os desertos, desenvolve os recursos e sujeita a energia. Constrói os maquinismos da indústria, as engrenagens do comércio e a estrutura da finança.

É o grande coordenador. Planeia e conduz a direcção de projectos representando investimentos de milhões de dólares e envolvendo milhares de homens.

Investiga com vistas largas e recolhe os factos antes de tomar resoluções. Projecta com segurança e constrói com fidelidade.

À grande herança que recebeu do trabalho das passadas gerações de engenheiros e cientistas acrescenta a sua contribuição.

Prossegue a grande obra de forçar a barreira ignorada que separa o esforço humano do impossível».

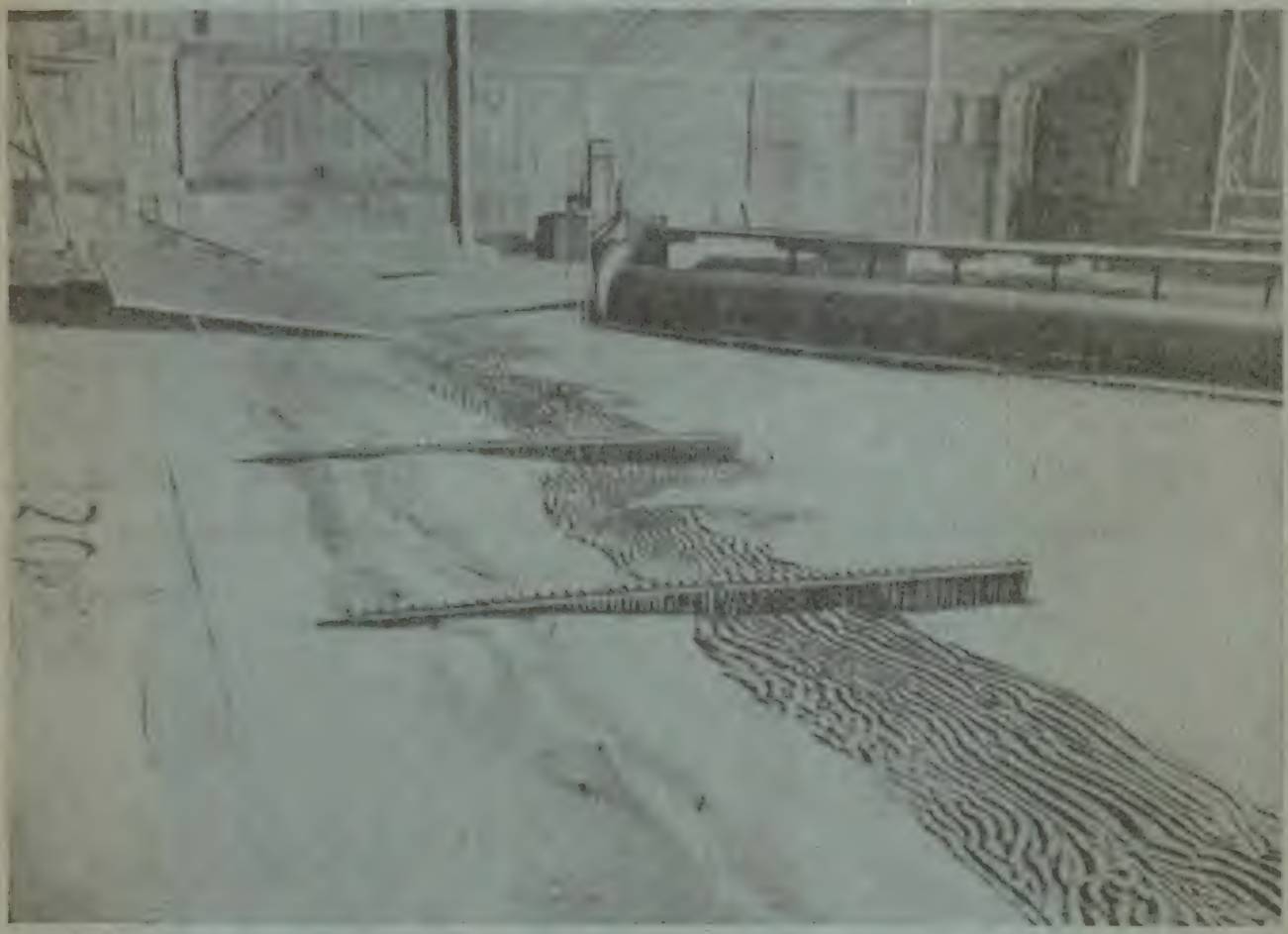
Citado por Clinton Cowgile & Ben Smell — «Architectural Practice» — 1947.

LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE

GRENOBLE

HIDRÁULICA FLUVIAL E MARÍTIMA — QUEDAS DE ÁGUA

Determinação económica das obras — Desassoreamentos
Aproveitamento dos rios — Eclusas
Utilização da energia das marés
Estudos de portos, de ancoradoiros — Docas secas
Protecção do litoral — Estabilidade das praias



Salinas de Giraud

Modelo reduzido para o estudo da defesa da costa contra o mar

EM PORTUGAL:

LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA
DA AMADORA

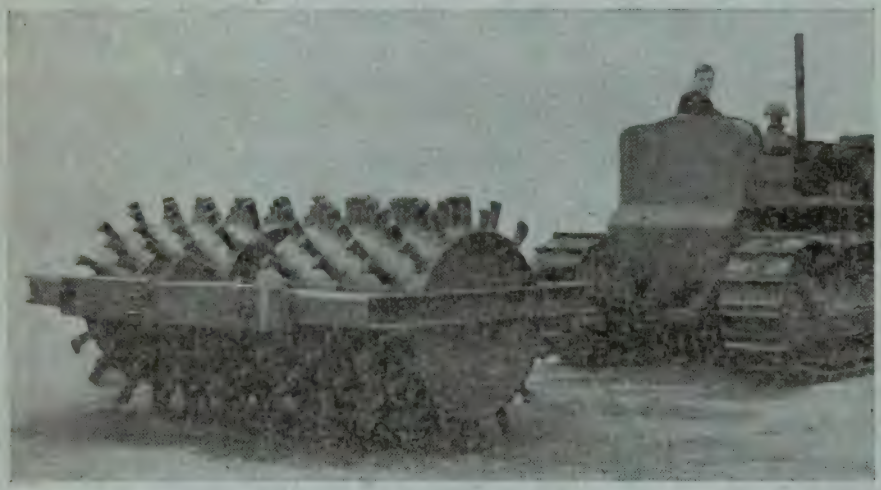
"NEYRPIC"

Rua Vice-Almirante António Fragoso de Azevedo Coutinho
AMADORA Telef. VENDA NOVA 48

BLAW-KNOX, LTD.

LONDRES — GRÃ BRETANHA

Fornecedores das Hidro-Eléctrica do Zézere, Hidro-Eléctrica do Cávado, Hidro-Eléctrica das Mabubas (Angola), grandes empreiteiros, etc.



Escavadoras, Bulldozers, Angledozers, Cilindros pés de carneiro, Bombas para beton, Centrais de betonagem, Formas mecânicas, Scrapers, etc.

AGENTES EXCLUSIVOS

F. NÓBREGA DE LIMA, LIMITADA

Avenida 24 de Julho, 1, 2.º
LISBOA
Tel. 22192-22193

SALÃO DE EXPOSIÇÃO
LARGO DE SANTOS, 5
LISBOA

Rua Sá da Bandeira, 562, 3.º
PORTO
Tel. 2 2553

CORRECÇÕES CONSIDERADAS PARA O PARAMENTO DE MONTANTE DA BARRAGEM DO PEGO DO ALTAR

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) ARMANDO DA PALMA CARLOS

C. D. 627.83. (469)

Trabalho publicado com a devida autorização da Direcção da Junta Autónoma das Obras da Hidráulica Agrícola

1 — Inevitabilidade da ocorrência de assentamentos nas barragens de enrocamento

Em todas as barragens de enrocamento verificam-se assentamentos, não só durante a construção, mas também após a sua conclusão, nomeadamente no período da sua colocação em carga, prolongando-se ainda durante bastantes anos, embora já mais lentamente.

—Esses assentamentos são inevitáveis, em grau maior ou menor, quaisquer que sejam a qualidade da rocha empregada e os métodos seguidos na construção.

—Resultam principalmente da acção do peso próprio do enrocamento e da pressão da água, quando a barragem entra em carga.

—São também originados pela acção lubrificante das águas, quer propositadamente empregadas durante a construção das barragens, para aumentar logo então a consolidação dos enrocamentos, quer de chuvas.

—A importância dos assentamentos que as chuvas podem provocar é posta em evidência pelos factos ocorridos durante a construção da barragem de S. Gabriel n.º 2, construída com pedra de boa qualidade e relativamente grande, não obstante o que, por ocasião de uma grande chuvada, estando o enrocamento já quase concluído, sofreu um assentamento de 4 % da sua altura, quase numa só noite.

2 — Principais assentamentos sofridos pelos enrocamentos

Os principais assentamentos que se têm verificado na construção das barragens de enrocamento são de 2 naturezas diversas, a saber:

a) Um, sensìvelmente vertical, devido ao peso próprio durante a construção.

b) Outro, aproximadamente perpendicular ao paramento de montante, resultante da pressão da água pela colocação da barragem em carga.

—Há porém a notar que, numa mesma barragem, os assentamentos não são uniformes nem verticais, variando necessàriamente com a configuração do terreno de fundação, onde a existência de escarpas provoca diferenças de assentamentos, sendo também vulgar haver deslocações do enrocamento das encostas para a parte central, as quais continuam mesmo depois dele estar concluído.

—Tais deslocações, nas cortinas impermeáveis, originam diminuição da largura das juntas na parte central e a abertura das juntas nas partes laterais, como se tem

observado em grande número de barragens construídas.

3 — Natureza das correcções a prever para atender aos principais assentamentos dos enrocamentos e importância que tem, para o comportamento das barragens desse tipo, a consideração dessas correcções

Para atender aos assentamentos ocorridos durante a construção há que dar a cada camada uma sobre-elevação, cujo valor deverá ser a soma do achatamento sofrido por essa camada, sob a acção de todas as que lhe são colocadas por cima, e da translação que para ela resulta dos achatamentos produzidos, por ela própria e pelas camadas superiores, nas várias camadas que ficam abaixo dela.

—Se não se procedesse dessa forma e se adoptassem os elementos correspondentes ao perfil definitivo, poder-se-ia chegar a um perfil com características sensìvelmente diferentes das daquele que se pretende obter.

—Por sua vez, para ter em consideração os assentamentos produzidos depois da conclusão das barragens de enrocamento, nomeadamente depois da sua colocação em carga, têm-se tomado, nas barragens mais recentemente construídas, algumas disposições, que consistem essencialmente na adopção:

a) De uma sobre-elevação para o coroamento da barragem, máxima na zona em que a altura do enrocamento é maior.

b) De uma forma convexa, em planta, para o coroamento da barragem, pela fixação de uma flexa para montante. Essa forma convexa mantém-se para as intersecções do paramento de montante com planos horizontais.

c) De uma forma côncava, em perfil transversal, para o paramento de montante da barragem.

—A sobre-elevação para o coroamento é necessária para que, depois da barragem entrar em carga, ele não fique fazendo encurvadura para baixo, o que seria de mau aspecto, antes se aproxime da cota teórica que se pretende obter.

—A curvatura do paramento para montante tem por objectivo que, ao produzirem-se os assentamentos no paramento, os quais terão uma componente para jusante, a cortina de revestimento sofra uma compressão, fechando-se as juntas, sob a acção dessa componente horizontal.

—Se essa medida não fosse adoptada, as juntas abririam e as linhas de intersecção de planos horizontais com o paramento, que inicialmente seriam rectas, transformar-se-iam em linhas curvas, de maior comprimento.

4 — Carácter aproximado das previsões relativas aos assentamentos dos enrocamentos

A consideração de correcções apropriadas para atender aos assentamentos das barragens de enrocamento, apesar da importância que tem para o comportamento dessas barragens, constitui um problema de difícil solução.

—Com efeito, para as barragens de enrocamento, ao contrário do que acontece com as de terra, ainda não se encontram estabelecidas normas concretas relativamente às características dos materiais e dos processos construtivos a empregar, nem métodos laboratoriais para comprovação do fixado por essas normas.

—Nessas condições é impossível determinar antecipadamente com exactidão a grandeza e a direcção dos assentamentos em cada ponto da massa do enrocamento e portanto as correcções a introduzir no perfil das barragens para que, findos os assentamentos, se obtenha para cada uma a secção para ela projectada.

—Acresce que, como já se referiu, os assentamentos não são uniformes nem verticais, havendo deslocações do enrocamento das encostas para a parte central.

—Pode-se, porém, chegar a obter certa aproximação para o valor dos assentamentos, por meio de comparações com os resultados obtidos noutras barragens do mesmo tipo, já construídas.

—Esses assentamentos são, geralmente, proporcionais à secção da barragem e à pressão da água sobre o paramento de montante, dependendo todavia da qualidade da pedra empregada, das dimensões e da forma dos blocos, dos métodos adoptados na construção, dos cuidados postos na arrumação do enrocamento e ainda da configuração do terreno de fundação.

—Não importa pois, na previsão das correcções a adoptar para atender aos assentamentos, procurar alcançar um rigor que não teria significado, mas apenas usar valores que permitam obviar aos inconvenientes que resultariam de se construir de acordo com os elementos do perfil teórico, pois da consideração dessas correcções resulta, indubitàvelmente, melhoria para o comportamento futuro das barragens.

—Foi esse o objectivo que se teve no estabelecimento de hipóteses relativas aos assentamentos na barragem do Pego do Altar.

—As hipóteses admitidas nunca se ajustam perfeitamente aos assentamentos verificados.

—Porém, a atenta consideração do assunto, feita desde início, bem como a cuidadosa anotação dos resultados obtidos em medições frequentes, permitem a reunião de elementos de que é possível tirarem-se úteis conclusões, constituindo assim valiosos ensinamentos, tanto mais que são ainda escassos os resultados deixados registados em relação a obras similares.

—Na presente nota trata-se apenas dos assentamentos previstos para o enrocamento e das correcções admitidas para o paramento de montante da barragem.

—A indicação dos resultados verificados por medição e a sua comparação com as hipóteses estabelecidas será feita a seu tempo.

5 — Camadas de enrocamento consideradas na previsão dos assentamentos da barragem do Pego do Altar

No quadro n.º 1 estão referidos os elementos relativos às camadas consideradas na previsão dos assentamentos de barragem do Pego do Altar.

—Em relação ao perfil tipo da barragem (desenho n.º 1) são de notar os elementos seguintes:

—Cota do coroamento: 56,0 m.
—Nível médio aproximado da fundação na zona do talvegue: 0,0 m.
—Altura da Barragem acima do nível médio aproximado da fundação na zona do talvegue: 56,0 m = 20 camadas × ×2,80 m/camada.

—Inclinação dos paramentos da barragem:

—Paramento de montante: 1,25:1
—Paramento de jusante: 1,4:1

— Degraus do paramento de jusante:

—1 à cota 12,50 m com largura de 3,00 m.
—1 à cota 30,00 m com largura de 2,50 m.
—1 à cota 45,00 m com largura de 2,00 m.

QUADRO N.º 1

Elementos relativos às camadas de enrocamento considerados no estudo dos assentamentos previstos para a Barragem

Camadas	Cotas (m)		Bases (m)		Soma das bases (m)	Semi-soma das bases (m)	Alturas (m)	Áreas (m²)
	Superior	Inferior	Superior	Inferior				
20	56,0	53,2	5,00	12,42	17,42	8,71	2,80	24,39
19	53,2	50,4	12,42	19,84	32,26	16,13	»	45,16
18	50,4	47,6	19,84	27,26	47,10	23,55	»	65,94
17	47,6	44,8	27,26	34,68	61,94	30,97	»	86,72
16	44,8	42,0	34,68	42,10	76,78	38,39	»	107,49
15	42,0	39,2	42,10	49,52	91,62	45,81	»	128,27
14	39,2	36,4	49,52	56,94	106,46	53,23	»	149,04
13	36,4	33,6	56,94	64,36	121,30	60,65	»	169,82
12	33,6	30,8	64,36	71,78	136,14	68,07	»	190,60
11	30,8	28,0	71,78	79,20	150,98	75,49	»	211,37
10	28,0	25,2	79,20	86,62	165,82	82,91	»	232,15
9	25,2	22,4	86,62	94,04	180,66	90,33	»	252,92
8	22,4	19,6	94,04	101,46	195,50	92,75	»	273,70
7	19,6	16,8	101,46	108,88	210,34	105,17	»	294,48
6	16,8	14,0	108,88	116,30	225,18	112,59	»	315,25
5	14,0	11,2	116,30	123,72	240,02	120,01	»	336,03
4	11,2	8,4	123,72	131,14	254,86	127,43	»	356,80
3	8,4	5,6	131,14	138,56	269,70	134,85	»	377,58
2	5,6	2,8	138,56	145,98	284,54	142,27	»	398,36
1	2,8	0,0	145,98	153,40	299,38	149,69	»	419,13

—Para efectivação do estudo do problema dos assentamentos considerou-se pois a Barragem formada por camadas de 2,80 de altura.

—Em relação a cada uma dessas camadas determinaram-se depois as respectivas bases e áreas, medidas no corte transversal da barragem.

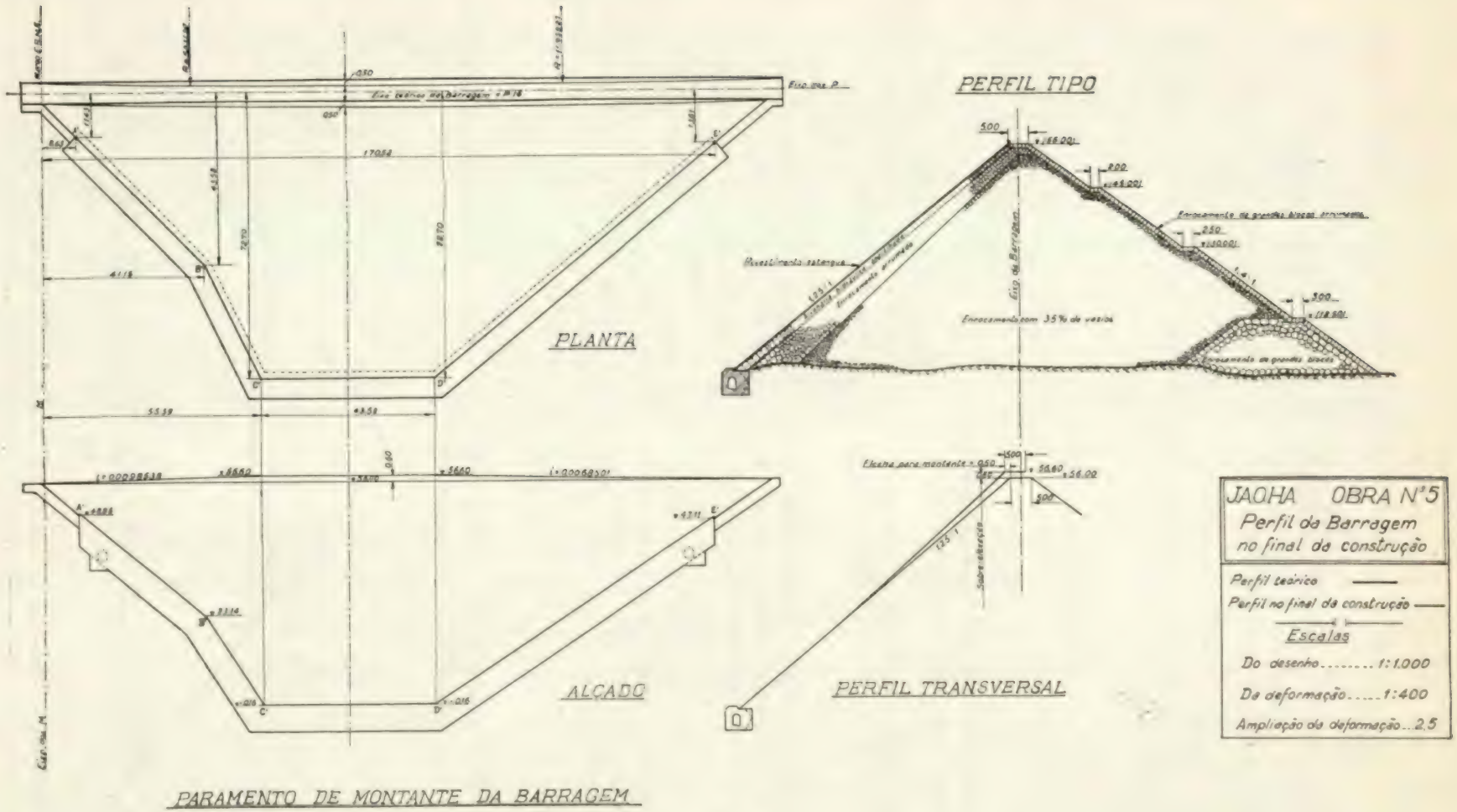
—Na determinação das áreas das diversas camadas não se entrou, porém, em linha de conta com os degraus do paramento de jusante da barragem.

6 — Valor relativo dos assentamentos a prever, durante a construção, para as diversas camadas de enrocamento

A escassez verificada no registo dos assentamentos ocorridos, durante a construção, em obras análogas, não permite deduzir normas que regulem o valor relativo dos assentamentos sofridos pelas diversas camadas sob a acção das que vão sendo colocadas por cima delas.

—Para fazer a previsão dos assentamentos, nesse período, houve assim que procurar a adopção de uma regra para que pareça racional obter-se uma relativa comprovação, na prática, já que não é de esperar que qualquer lei relativa ao assunto possa ter uma confirmação absoluta, dada a multiplicidade dos factores que podem influir no valor local dos assentamentos: grau de arrumação da pedra, eventual variação da sua qualidade, dimensões dos blocos, sua forma, proporção entre os grandes blocos e a pedra pequena, quantidade de água que haja exercido acção sobre o enrocamento, configuração do terreno de fundação, etc.

—Os assentamentos sofridos por qualquer


PERFIL TIPO
PLANTA
ALÇADO
PERFIL TRANSVERSAL
PARAMENTO DE MONTANTE DA BARRAGEM
JAOHA OBRA Nº5
Perfil da Barragem
no final da construção
Perfil teórico
Perfil no final da construção
Escalas
Do desenho.....1:1.000
Da deformação.....1:400
Ampliação da deformação...2.5

Desenho 1

camada, mercê da execução de uma das camadas superiores, são a soma de duas parcelas, que se designam por achatamentos e translacções.

—Os achatamentos são as reduções de espessura que as camadas sofrem sob a acção das cargas a que são submetidas.

—As translacções são as deslocações que resultam para as diversas camadas dos achatamentos sofridos pelas camadas inferiores.

—A camada inferior só sofre achatamentos, assim como a superior só experimenta translacções.

—Todas as camadas intermédias estão porém sujeitas a achatamentos e a translacções.

—Admitiu-se na barragem do Pego do Altar, tal como na Obra de Vale de Gaio, que:

«Os achatamentos provocados, em cada «uma das camadas inferiores, pela colo«cação de uma nova camada de enroca«mento, serão directamente proporcio«nais ao peso da camada actuante e «inversamente proporcionais às super«fícies de distribuição da carga nas «camadas sujeitas à acção desse peso.»

—Isso mesmo se pode exprimir desta outra maneira:

«Durante a execução de um enroca«mento a colocação de cada nova «camada produzirá, em cada uma das «camadas inferiores, achatamentos di«rectamente proporcionais à secção da «camada colocada e inversamente pro«porcionais às bases das camadas que «lhe ficam abaixo.»

—Representando por a os achatamentos, por S as secções das camadas que produzem os esforços e por b as bases superiores das camadas que sofrem os esforços, teremos assim que

$$a = K \frac{S}{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

sendo K um coeficiente, constante por hipótese, que designaremos por coeficiente dos assentamentos.

—Em cada caso os assentamentos serão tanto menores quanto mais pequeno for esse coeficiente, cujo valor exprime pois a qualidade da construção, dado que os assentamentos deverão ser tanto mais reduzidos quanto melhor for a qualidade da pedra empregada, quanto menos vazios forem deixados no enrocamento, quanto mais cuidada for portanto a arrumação dos blocos, etc.

—Designando (fig. 2) por:

—h a altura de cada camada do enrocamento

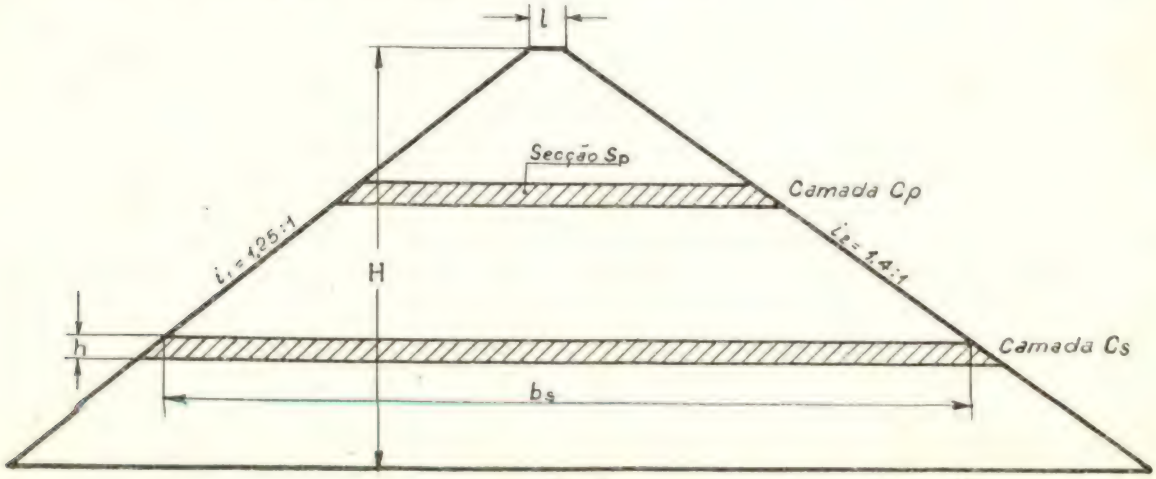


Fig. 2

—n o número de camadas
—$H = n \times h$ a altura total do enrocamento
—l a largura do coroamento da barragem
—i_1 e i_2 as inclinações dos paramentos de montante e jusante da barragem
—$c_1, c_2 \ldots\ldots c_s \ldots\ldots c_p \ldots\ldots c_n$ as n camadas, sendo, de uma maneira geral, c_s a camada que sofre um achatamento e c_p a camada cuja colocação provoca assentamentos
—S_p a secção da camada c_p
—b_s a base da camada c_s

teremos que:

$$S_p = l \times h + \left(n - p + \frac{1}{2}\right)\left(i_1 + i_2\right) h^2$$

$$b_s = l + (n - s)\ (i_1 + i_2)\ h$$

podendo assim os achatamentos exprimir-se pela seguinte fórmula genérica:

$$a = K \frac{l + (n - p + 1/2)\ (i_1 + i_2)\ h}{l + (n - s)\ (i_1 + i_2)\ h}\ h \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

— Para o caso da barragem do Pego do Altar, em que:

$$l = 5{,}00 \text{ m} \qquad i_1 = 1{,}25{:}1 \qquad i_2 = 1{,}40{:}1$$

tendo-se previsto

$$n = 20 \qquad h = 2{,}80 \text{ m.}$$

obtém-se

$$a = K \frac{5 + (20 - p + 1/2)\ (1{,}25 + 1{,}40) \times 2{,}80}{5 + (20 - s)\ (1{,}25 + 1{,}40) \times 2{,}80} \times 2{,}80 =$$

$$= K \frac{5 + 7{,}42\ (20{,}5 - p)}{5 + 7{,}42\ (20 - s)} \times 2{,}8 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

expressão cuja aplicação permitiu a determinação dos números proporcionais aos achatamentos (cocientes S/b) reunidos no quadro n.º 2.

—As somas referidas à direita desse quadro representam números proporcionais ao achatamento total sofrido por cada camada sob a acção de todas as camadas superiores; o seu valor é máximo na camada mais baixa, decrescendo desde esta até à camada mais alta, como parece lógico que seja, visto que quanto mais elevadas as camadas ficam menor é a carga que incide sobre elas.

—As somas das colunas do mesmo quadro indicam a influência exercida por cada camada sobre todas as que lhe ficam abaixo; o seu valor cresce desde a camada inferior até dois terços da altura da barragem, diminuindo de novo até à camada superior; o máximo apontado é resultante da conjugação da redução do peso das camadas e do aumento das alturas influenciadas por esse peso, à medida que se progride na construção.

—Para obtenção dos assentamentos sofridos pelas diversas camadas há que somar aos achatamentos respectivos as translacções resultantes dos achatamentos das camadas inferiores.

—Procedendo-se dessa forma, com os valores do quadro n.º 2, obtiveram-se os números proporcionais aos assentamentos hipotéticos, os quais estão discriminados no quadro n.º 3.

—De harmonia com os valores deste quadro os maiores assentamentos durante a construção serão verificados entre o terço inferior e a meia altura da barragem.

—Para verificação dos assentamentos reais colocaram-se referências no paramento de montante à medida que este foi sendo executado.

—É evidente que os elementos dos quadros n.os 2 e 3 respeitam à parte central da barragem.

—Ao longo das encostas à medida que o nível das fundações vai subindo, há que ir suprimindo camadas de baixo para cima, tudo se passando portanto pela consideração, nessas zonas, de barragens de menor altura.

7 — Fixação do valor a admitir para o somatório dos achatamentos a ocorrer, durante a construção, nas várias camadas de enrocamento

Conforme já se referiu, são bem reduzidos os elementos registados, em anteriores construções, em relação aos assentamentos dos enrocamentos, no decorrer da sua construção.

—Vários são os autores que indicam poderem-se esperar nos enrocamentos, durante esse período, assentamentos de 5 % da sua altura. No número desses autores contam-se os engenheiros J. D. Galloway [1] e Miguel Jinich [2].

—Na construção da barragem de Ghrib [3] foi, porém, feita uma útil observação que passarei a referir.

—Nessa barragem, com aproximadamente 70 metros de altura e em que todo o enrocamento foi arrumado, sendo 26 % a percentagem média de vazios, verificou-se que a camada colocada 19 metros acima da fundação sofreu um assentamento de 57 centímetros (número este que não inclui 13 centímetros de assentamento da própria fundação), ou seja de 3 % dessa altura.

—Vejamos, em face dos números proporcionais já deduzidos (quadros n.os 2 e 3), qual a percentagem representada, nesse caso de Ghrib, pelo somatório dos achatamentos das diversas camadas em relação à altura da barragem.

—Sendo :

—282,18 o somatório dos números proporcional ao assentamento na camada 6 (quadro n.º 2), e

—106,20 o número proporcional ao assentamento na camada 6 (quadro n.º 3), que é a camada correspondente à altura de 19 metros numa barragem com 70 metros, construída em 20 camadas,

tem-se para valor absoluto do somatório dos achatamentos

$$\frac{282{,}18}{106{,}20} \times 57 \text{ cm} = 1{,}51 \text{ m}$$

o que representa, em relação à altura da barragem,

$$\frac{1{,}51 \text{ m}}{70 \text{ m}} \simeq 2{,}2\ \%$$

—Com base neste valor, por parecer que, em relação à barragem do Pego do Altar, seria de prever a obtenção de percentagem pouco diferente dessa, foi-se levado à adopção, na previsão efectuada, dos números seguintes:

a) Relação entre o somatório dos achatamentos sofridos, durante a construção, pelas várias camadas e a altura da barragem: 2 %.

b) Valor absoluto desse somatório dos achatamentos:

$$0{,}02 \times 55 \text{ m} = 112 \text{ cm}$$

—Corresponde isto à adopção de um coeficiente dos assentamentos

$$K = \frac{112}{282{,}18} = 0{,}39691 \simeq 0{,}4 \ .$$

8 — Assentamentos previstos durante a construção. Sobre-elevações a dar às camadas para consideração desses assentamentos

Multiplicando os números proporcionais do quadro n.º 2 pelo coeficiente dos assen-

---

(1) «The design of rock-fill dams», artigo e discussão publicados em «Proceedings», a partir de Outubro de 1937.

(2) «Presas de enrocamento», artigo publicado na revista «Irrigacion en Mexico», número de Novembro e Dezembro de 1939.

(3) Eng.º Martin «Le barrage du Ghrib», artigo publicado na revista «Annales de l'Institut Technique du batiment et des travaux publics» número de Janeiro e Fevereiro de 1937.

QUADRO N.º 2

Números proporcionais aos achatamentos sofridos pelas várias camadas de enrocamento durante a construção da barragem

Esforços sofridos pelas camadas	Camadas	Esforços produzidos pelas camadas																				Somas	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Nas camadas	Acumuladas
	20																						
	19																				1,96	1,96	1,96
	18																			2,28	1,23	3,51	5,47
	17																		2,42	1,66	0,89	4,97	10,44
	16																	2,50	1,90	1,30	0,70	6,40	16,84
	15																2,55	2,06	1,57	1,07	0,58	7,83	24,67
	14															2,59	2,17	1,75	1,33	0,91	0,49	9,24	33,91
	13														2,62	2,25	1,89	1,52	1,16	0,79	0,43	10,66	44,57
	12													2,64	2,32	1,99	1,67	1,35	1,02	0,70	0,38	12,07	56,64
	11												2,66	2,37	2,08	1,79	1,50	1,21	0,92	0,63	0,34	13,50	70,14
	10											2,67	2,41	2,14	1,88	1,62	1,36	1,09	0,83	0,57	0,31	14,88	85,02
	9										2,68	2,44	2,20	1,96	1,72	1,48	1,24	1,00	0,76	0,52	0,28	16,28	101,30
	8									2,69	2,47	2,25	2,03	1,81	1,58	1,36	1,14	0,92	0,70	0,48	0,26	17,69	118,99
	7								2,70	2,49	2,29	2,08	1,88	1,67	1,47	1,26	1,06	0,85	0,65	0,45	0,24	19,09	138,08
	6							2,70	2,51	2,32	2,13	1,94	1,75	1,56	1,37	1,18	0,99	0,80	0,61	0,41	0,22	20,49	158,57
	5						2,71	2,53	2,35	2,17	2,00	1,82	1,64	1,40	1,28	1,10	0,92	0,75	0,57	0,39	0,21	21,90	180,47
	4					2,72	2,55	2,33	2,21	2,04	1,88	1,71	1,54	1,37	1,20	1,04	0,87	0,70	0,53	0,37	0,20	23,31	203,78
	3				2,72	2,56	2,40	2,25	2,09	1,93	1,77	1,61	1,45	1,29	1,14	0,98	0,82	0,66	0,50	0,34	0,19	24,70	228,48
	2			2,73	2,58	2,43	2,28	2,13	1,98	1,83	1,68	1,53	1,38	1,25	1,08	0,93	0,78	0,63	0,48	0,33	0,18	26,19	254,67
	1		2,73	2,59	2,44	2,30	2,16	2,02	1,87	1,73	1,59	1,45	1,31	1,16	1,02	0,88	0,74	0,59	0,45	0,31	0,17	27,51	282,18
		—	2,73	5,32	7,74	10,01	12,10	14,01	15,71	17,20	18,49	19,50	20,25	20,66	20,76	20,45	19,70	18,38	16,40	13,51	9,26	282,18	—
		Números proporcionais																					

QUADRO N.º 3

Números proporcionais aos assentamentos sofridos pelas várias camadas de enrocamento

Assentamentos sofridos pelas camadas	Camadas	Assentamentos produzidos pelas camadas																				Assentamentos totais
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	20																					
	19																				9,26	9,26
	18																			13,51	7,30	20,81
	17																		16,40	11,23	6,07	33,70
	16																	18,38	13,98	9,57	5,18	47,11
	15																19,70	15,88	12,08	8,27	4,48	60,41
	14															20,45	17,15	13,82	10,51	7,20	3,90	73,03
	13														20,76	17,86	14,98	12,07	9,18	6,29	3,41	84,55
	12													20,66	18,14	15,61	13,09	10,55	8,02	5,50	2,98	94,55
	11												20,25	18,02	15,82	13,62	11,42	9,20	7,00	4,80	2,60	102,73
	10											19,50	17,59	15,65	13,74	11,83	9,92	7,99	6,08	4,17	2,26	108,73
	9										18,49	16,83	15,18	13;51	11,86	10,21	8,56	6,90	5,25	3,60	1,95	112,34
	8									17,20	15,81	14,39	12,98	11,55	10,14	8,73	7,32	5,90	4,49	3,08	1,67	113,26
	7								15,71	14,51	13,34	12,14	10,95	9,74	8,56	7,37	6,18	4,98	3,79	2,60	1,41	111,28
	6							14,01	13,01	12,02	11,05	10,06	9,07	8,07	7,09	6,11	5,12	4,13	3,14	2,15	1,17	106,20
	5						12,10	11,31	10,50	9,70	8,92	8,12	7,32	6,51	5,72	4,93	4,13	3,33	2,53	1,74	0,95	97,81
	4					10,01	9,39	8,78	8,15	7,53	6,92	6,30	5,68	5,05	4,44	3,83	3,21	2,58	1,96	1,35	0,74	85,92
	3				7,74	7,29	6,84	6,40	5,94	5,49	5,04	4,59	4 14	3,68	3,24	2,79	2,34	1,88	1,43	0,98	0,54	70,35
	2			5,32	5,02	4,73	4,44	4,15	3,85	3,56	3,27	2,98	2,69	2,39	2,10	1,81	1,52	1,22	0,93	0,64	0,35	50,97
	1		2,73	2,59	2,44	2,30	2,16	2,02	1,87	1,73	1,59	1,45	1,31	1,16	1,02	0,88	0,74	0,59	0,45	0,31	0,17	27,51
		Números proporcionais																				

QUADRO N.º 4

Achatamentos ocorridos durante a construção do enrocamento para a hipótese de totalizarem 2 % da altura da barragem

Achatamentos sofridos pelas camadas	Camadas	Achatamentos produzidos pelas camadas (cm)																				Somas	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Nas camadas	Acumuladas
	20																				0,78	0,78	0,78
	19																			0,90	0,49	1,39	2,17
	18																		0,96	0,66	0,35	1,97	4,14
	17																	0,99	0,75	0,52	0,28	2,54	6,68
	16																1,01	0,82	0,62	0,43	0,23	3,11	9,79
	15															1,03	0,86	0,70	0,53	0,36	0,19	3,67	13,46
	14														1,04	0,90	0,75	0,60	0,46	0,31	0,17	4,23	17,69
	13													1,05	0,92	0,79	0,66	0,54	0,40	0,28	0,15	4,79	22,48
	12												1,06	0,94	0,82	0,71	0,60	0,48	0,37	0,25	0,13	5,36	27,84
	11											1,06	0,96	0,85	0,75	0,64	0,54	0,43	0,33	0,23	0,12	5,91	33,75
	10										1,06	0,97	0,87	0,78	0,68	0,59	0,49	0,40	0,30	0,21	0,11	6,46	40,21
	9									1,07	0,98	0,89	0,81	0,72	0,62	0,54	0,45	0,37	0,28	0,19	0,10	7,02	47,23
	8								1,07	0,99	0,91	0,82	0,75	0,66	0,58	0,50	0,42	0,34	0,26	0,12	0,10	7,58	54,81
	7							1,07	1,00	0,92	0,85	0,77	0,69	0,62	0,54	0,47	0,39	0,32	0,24	0,16	0,09	8,13	62,94
	6						1,08	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,51	0,44	0,37	0,30	0,23	0,15	0,08	8,69	71,63
	5					1,08	1,01	0,94	0,88	0,81	0,75	0,68	0,61	0,54	0,48	0,41	0,35	0,28	0,21	0,14	0,08	9,25	80,88
	4				1,08	1,02	0,95	0,89	0,83	0,77	0,70	0,64	0,58	0,51	0,45	0,39	0,33	0,26	0,20	0,13	0,08	9,81	90,69
	3			1,08	1,02	0,96	0,90	0,84	0,79	0,73	0,67	0,61	0,55	0,49	0,43	0,37	0,31	0,25	0,19	0,13	0,07	10,39	101,08
	2		1,08	1,03	0,97	0,91	0,86	0,80	0,74	0,69	0,63	0,58	0,52	0,46	0,41	0,35	0,29	0,23	0,18	0,12	0,07	10,92	112,00
	1	—	1,08	2,11	3,07	3,97	4,80	5,54	6,24	6,84	7,34	7,74	8,05	8,20	8,23	8,13	7,82	7,31	6,51	5,35	3 67	112,00	—

Achatamentos em centímetros para coeficiente de assentamentos K = 0,4

QUADRO N.º 5

Sobre-elevações a considerar nas várias camadas de enrocamento para ter em atenção os assentamentos durante a construção da barragem

Assentamentos sofridos pelas camadas	Camadas	Assentamentos produzidos pelas camadas (cm)																				Sobre-elevações nas camadas (cm)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	20																					—
	19																				3,67	3,67
	18																			5,35	2,89	8,24
	17																		6,51	4,45	2,40	13,36
	16																	7,31	5,55	3,79	2,05	18,70
	15																7,82	6,32	4,80	3,27	1,77	23,98
	14															8,13	6,81	5,50	4,18	2,84	1,54	29,00
	13														8,23	7,10	5,95	4,80	3,65	2,48	1,35	33,56
	12													8,20	7,19	6,20	5,20	4,20	3,19	2,17	1,18	37,53
	11												8,05	7,15	6,27	5,41	4,54	3,66	2,79	1,89	1,03	40,79
	10											7,74	6,99	6,21	5,45	4,70	3,94	3,18	2,42	1,64	0,90	43,17
	9										7,34	6,68	6,03	5,36	4,70	4,06	3,40	2,75	2,09	1,41	0,78	44,60
	8									6,84	6,28	5,71	5,16	4,58	4,02	3,47	2,91	2,35	1,79	1,20	0,67	44,98
	7								6,24	5,77	5,30	4,82	4,35	3,86	3,40	2,93	2,46	1,98	1,51	1,01	0,57	44,20
	6							5,54	5,17	4,78	4,39	4,00	3,60	3,20	2,82	2,43	2,04	1,64	1,25	0,83	0,47	42,16
	5						4,80	4,47	4,17	3,86	3,54	3,23	2,91	2,58	2,28	1,96	1,65	1,32	1,01	0,67	0,38	38,83
	4					3,97	3,72	3,47	3,24	3,00	2,75	2,51	2,26	2,00	1,77	1,52	1,28	1,02	0,78	0,52	0,30	34,11
	3				3,07	2,89	2,71	2,53	2,36	2,19	2,00	1,83	1,65	1,46	1,29	1,11	0,93	0,74	0,57	0,38	0,22	27,93
	2			2,11	1,99	1,87	1,76	1,64	1,53	1,42	1,30	1,19	1,07	0,95	0,84	0,72	0,60	0,48	0,37	0,25	0,14	20,23
	1		1,08	1,03	0,97	0,91	0,86	0,80	0,74	0,69	0,63	0,58	0,52	0,46	0,41	0,35	0,29	0,23	0,18	0,12	0,07	10,92

Assentamentos em centímetros para um coeficiente de assentamentos K = 0,4

tamentos K = 0,4 obtêm-se os valores previstos para os achatamentos a ocorrer nas diversas camadas de enrocamento pela acção do peso das camadas superiores, valores esses que constam do quadro n.º 4.

—Idênticamente, multiplicando os valores do quadro n.º 3 pelo coeficiente K = 0,4 obtêm-se os assentamentos previstos para as várias camadas de pedra, os quais estão registados no quadro n.º 5.

—Para consideração desses assentamentos, de forma a procurar-se obter o perfil projectado, há que dar às camadas sobre-elevações iguais aos respectivos valores.

—No caso de se modificar o valor adoptado para o coeficiente dos assentamentos K, portanto a percentagem da altura da barragem considerada para somatório de todos os achatamentos das camadas, as sobre-elevações a usar variariam proporcionalmente.

9 — Valores adoptados para as correcções introduzidas no perfil teórico da barragem para atender aos assentamentos durante a sua colocação em carga e justificação desses valores

Já anteriormente se indicaram as disposições a adoptar na construção das barragens de enrocamento para atender aos assentamentos que ocorrerão durante a sua colocação em carga.

—No estabelecimento das previsões relativas às correcções a introduzir no perfil teórico dessas barragens, para consideração dos assentamentos agora analisados, há pois que fixar inicialmente:

a) A sobre-elevação máxima S_e, isto é, a sobre-elevação no coroamento, sobre a zona do talvegue.

b) A flexa f adoptada nessa zona para a convexidade dada em planta ao coroamento.

c) O raio de curvatura R adoptado para a forma côncava do paramento de montante da barragem.

Em relação à barragem do Pego do Altar foi resolvida a fixação dos seguintes valores:

a) Sobre-elevação máxima $S_e = 0{,}60$ metros.

b) Forma convexa, em planta, para o coroamento, com flexa $f = 0{,}50$ metros.

c) Forma côncava, em perfil para o paramento de montante, sendo a curvatura definida pela circunferência tangente ao paramento teórico de inclinação 1,25 : 1 e passando pela intersecção desse paramento com o muro corta-águas e pelo ponto de coroamento sobre-elevado 60 centímetros e desviado para montante 50 centímetros, de harmonia com o anteriormente referido. Para o perfil central é $R = 5\,173{,}6$ m e $f_1 = 0{,}19$ metros.

A sobre-elevação máxima considerada, 60 centímetros, representa aproximadamente 1 % da altura da barragem, o que se julgou aceitável em virtude de:

—Também haver sido de 60 centímetros o assentamento máximo previsto para a barragem do Rio Tercero, de 51 metros de altura.

—Para a barragem de Bou-Hanifia, de 55 metros, ter-se adoptado uma sobre-elevação de 40 centímetros.

—Nas barragens de Strawberry e Dix terem-se verificado assentamentos da ordem dos 0,6 % da sua altura.

—Nas barragens de Vannino e de Oued Kebir os assentamentos haverem sido de 2,2 e 2,7 % da altura, tendo-se porém de notar que essa relação, entre os assentamentos medidos no coroamento e as alturas totais das obras, decresce, normalmente, em igualdade das restantes condições, quando essa altura aumenta. No caso do Pego do Altar, para uma barragem de

altura sensìvelmente superior à daquelas barragens, parece pois de esperar uma percentagem menor para os assentamentos durante a colocação em carga.

—Na barragem de Bakhadda, com menor percentagem de vazios no enrocamento, o assentamento foi de cerca de 0,7 % da altura.

—Vários outros exemplos se poderiam ainda apresentar, levando, de uma maneira geral, à conclusão de que o valor previsto não se deverá afastar, de forma importante, dos assentamentos que são de esperar em face dos resultados obtidos em anteriores construções.

O valor f = 0,50 m., adoptado para flecha de convexidade do coroamento, em planta, pareceu também aceitável atendendo, entre outros elementos, a que:

—Foram os seguintes os valores previstos para algumas outras barragens:

—Rio Tercero	35 cm
—Bou Hanifia	60 cm
—Taxhimay .	90 cm no corpo central e 60 cm nas partes laterais

—Os desvios horizontais, máximos, registados na barragem de Bakhadda foram de 27,3 cm.

É evidente que a importância da convexidade do coroamento e da forma côncava do paramento de montante não é a mesma, qualquer que seja o tipo de revestimento adoptado. Ela é maior se o revestimento for de formigão que se for de chapa de aço.

—Porém, na incerteza das condições que se verificavam, nenhuma das soluções admissíveis deveria ser posta de parte, pelo que se entendeu não se dever deixar de usar na construção nenhuma das aconselháveis correcções ao perfil teórico.

A curvatura do paramento de montante da barragem, como se referiu, foi definida pela determinação do raio da circunferência tangente ao paramento teórico e passando pela intersecção desse paramento com o muro corta-águas e pelo ponto do coroamento sobre-elevado e desviado para montante.

—O raio dessa circunferência (5 173,6 metros) parece, à primeira vista, elevado, mas ele não pode ser reduzido, pois, se assim se fizesse, para algumas intersecções de planos horizontais com o paramento de montante da barragem, resultariam então curvas côncavas em vez de convexas, como se pretende, para evitar tracções.

—É lógico que, com a altura das barragens, o raio de curvatura cresça, pelo que parecem igualmente aceitáveis os valores cuja adopção foi considerada: R=5 173,3 metros e f_1 = 0,19 metros, no perfil central.

Os valores até aqui indicados referem-se ao perfil central da barragem, designando por esta forma aquele perfil normal ao eixo da barragem que divide ao meio o troço base do muro corta-água.

—Vejamos agora como esses valores variam ao longo do corpo da barragem.

—Atenda-se a que toda a implantação da barragem foi feita em relação a 2 eixos ortogonais (desenho n.º 1), que são o próprio eixo da barragem (eixo dos PP) e um eixo normal àquele e passando pelo marco E. B. M. E. (eixo dos MM).

—Atenda-se igualmente a que o corpo principal do muro corta-águas é intersectado pelo paramento de montante da barragem segundo uma linha poligonal A' B' C' D' E', com 2 alinhamentos A' B' e B' C' na margem esquerda, um troço base C' D' na zona de talvegue e um único alinhamento D' E' na margem direita.

A sobre-elevação máxima indicada S_e = = 0,60 m foi adoptada entre os pontos de

coordenadas PP iguais às dos pontos C' D', a saber: P = 55,39 m e P = 98,91 m, portanto num desenvolvimento de 98,91 — 55,39 = = 43,52 m.

—Do lado esquerdo a sobre-elevação S_e foi atingida num trainel com origem no ponto P = —5,50m, desenvolvimento de 5,50 + + 55,39 = 60,89 m e inclinação de 0,60 : 60,89 = 0,0098538.

—Do lado direito a sobre-elevação S_e foi, por sua vez, alcançada num trainel com termo no ponto P = 186,50 m, desenvolvimento de 186,50 — 98,91 = 87,59 m. e inclinação de 0,60 : 87,59 = 0,0068501.

A flecha na convexidade do coroamento é f = 0,50 m apenas no ponto de coordenada P = 1/2 (55,39 + 98,91) = 97,15 m, isto é, existente num plano perpendicular ao eixo teórico da barragem (perfil P 16) e equidistante dos pontos C' e D'.

—Do lado esquerdo, a variação da flecha foi obtida, desde 0,00 até f = 0,50 m, no desenvolvimento de 5,50 + 77,15 = 82,65 m, por uma circunferência passando pelos dois pontos e tangente, no ponto de flecha f = 0,50 m, a uma paralela ao eixo da barragem. O raio dessa circunferência é de 6 831,27 m.

—Do lado direito a variação da flecha foi feita, desde 0,00 até f = 0,50 m, no desenvolvimento de 186,50 — 77,15 = = 109,35 m, por uma circunferência passando pelos dois pontos e tangente, no ponto de flecha f = 0,50 m, a uma para-

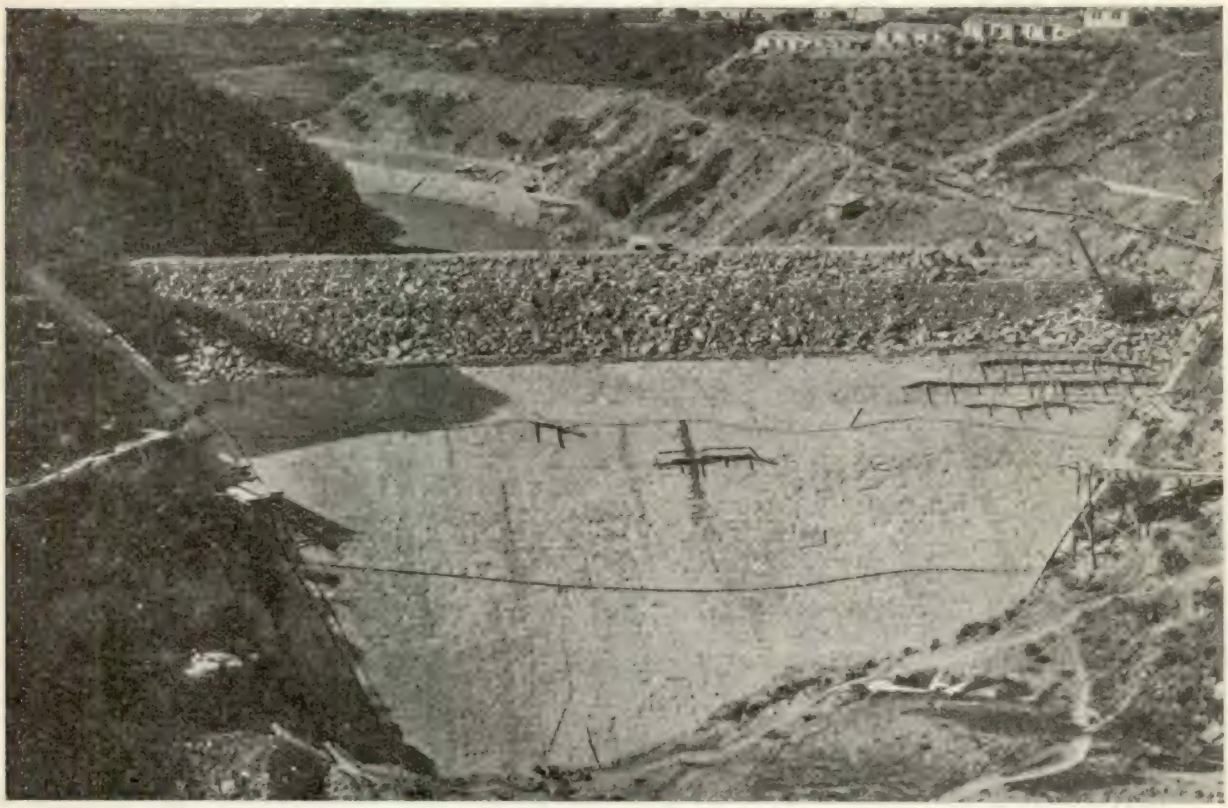


Foto 1

Um aspecto do paramento de montante da barragem durante a sua execução

lela ao eixo da barragem. O raio dessa circunferência é de 11 958,17 m.

Para o paramento de montante, o raio R = 5 173,6 m foi aplicado no perfil central na barragem, portanto no plano para que P = 77,15 m.

—Em qualquer outro plano normal ao eixo da barragem a concavidade do paramento de montante foi mantida sempre definida pela circunferência que, nesse plano, é tangente ao paramento teórico de inclinação 1,25:1 e passa pelo respectivo ponto de intersecção com o muro corta-águas

QUADRO N.º 6

Planos para que se determinaram os elementos do paramento de montante, no final da construção, e intersecções desses planos com o coroamento da barragem

Coordenadas P que definem os planos (m)	Distâncias P entre os planos (m)	Pontos do coroamento da Barragem		OBSERVAÇÕES
		Coordenadas M (m)	Cotas C (m)	
+ 8,63	+ 8,13	+ 2,66	+ 56,14	Plano passando por A'
+ 16,76	+ 8,13	+ 2,73	+ 56,22	
+ 24,89	+ 8,13	+ 2,80	+ 56,30	
+ 33,02	+ 8,13	+ 2,86	+ 56,38	
+ 41,15	+ 7,12	+ 2,91	+ 56,46	Plano passando por B'
+ 48,27	+ 7,12	+ 2,94	+ 56,53	
+ 55,39	+ 10,88	+ 2,97	+ 56,60	Plano passando por C'
+ 66,27	+ 10,88	+ 2,99	+ 56,60	
+ 77,15	+ 10,88	+ 3,00	+ 56,60	Plano intermédio entre C' e D'
+ 88,03	+ 10,88	+ 3,00	+ 56,60	
+ 98,91	+ 11,935	+ 2,98	+ 56,60	Plano passando por D'
+ 110,845	+ 11,935	+ 2,95	+ 56,52	
+ 122,78	+ 11,935	+ 2,91	+ 56,44	
+ 134,715	+ 11,935	+ 2,86	+ 56,35	
+ 146,65	+ 11,935	+ 2,80	+ 56,27	
+ 158,585	+ 11,935	+ 2,72	+ 56,19	
+ 170,52		+ 2,63	+ 56,11	Plano passando por E'

QUADRO N.º 7

Resumo das distâncias M ao plano vertical passando pelo eixo da barragem dos pontos que, em planos horizontais distanciados de 2,80 m., definem a forma que se pretende obter para o paramento de montante da barragem no final da construção

Distâncias M ao eixo da barragem, dos pontos do paramento de montante, nos vários planos normais a esse eixo (m.)	Coordenadas P que definem os planos (m.)	Cotas C (m.)																				
		0,00	+ 2,80	+ 5,60	+ 8,40	+ 11,20	+ 14,00	+ 16,80	+ 19,60	+ 22,40	+ 25,20	+ 28,00	+ 30,80	+ 33,60	+ 36,40	+ 39,20	+ 42,00	+ 44,80	+ 47,60	+ 50,40	+ 53,20	+ 56,00
	+ 8,63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 9,51	+ 6,12	+ 2,82
	16,76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 16,51	+ 13,07	9,67	6,31	2,99
	24,89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 27,00	+ 23,52	+ 20,06	16,63	13,23	9,85	6,49	3,15
	33,02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 34,00	+ 30,52	27,06	23,62	20,19	16,78	13,39	10,01	6,65	3,31
	41,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+ 41,00	+ 37,52	34,05	30,60	27,16	23,73	20,32	16,92	13,53	10,16	6,80	3,45
	48,27	—	—	—	—	—	+ 55,00	+ 51,52	+ 48,04	+ 44,57	41,11	37,66	34,21	30,77	27,34	23,92	20,51	17,11	13,72	10,33	6,95	3,57
	55,39	+ 72,50	+ 69,00	+ 65,51	+ 62,03	+ 58,55	55,08	51,61	48,15	44,70	41,25	37,81	34,37	30,94	27,52	24,10	20,68	17,27	13,87	10,47	7,08	3,69
	66,27	72,50	69,00	65,51	62,03	58,55	55,08	51,61	48,15	44,70	41,25	37,81	34,37	30,94	27,52	24,10	20,69	17,28	13,88	10,49	7,10	3,71
	77,15	72,50	69,00	65,51	62,03	58,55	55,08	51,61	48,15	44,70	41,25	37,81	34,38	30,95	27,53	24,11	20,70	17,29	13,89	10,50	7,11	3,72
	88,03	72,50	69,00	65,51	62,03	58,55	55,08	51,61	48,15	44,70	41,25	37,81	34,38	30,95	27,53	24,11	20,70	17,29	13,89	10,50	7,11	3,72
	98,91	72,50	69,00	65,51	62,03	58,55	55,08	51,61	48,15	44,70	41,25	37,81	34,37	30,94	27,52	24,10	20,69	17,28	13,88	10,48	7,09	3,70
	110,845	—	—	—	62,00	58,50	55,01	51,53	48,06	44,60	41,14	37,69	34,25	30,81	27,38	23,96	20,54	17,13	13,73	10,34	6,95	3,57
	122,78	—	—	—	—	—	—	51,50	48,01	44,52	41,05	37,59	34,13	30,68	27,25	23,82	20,40	16,99	13,59	10,20	6,81	3,43
	134,715	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41,01	37,52	34,05	30,58	27,13	23,69	20,26	16,84	13,43	10,04	6,66	3,28
	146,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30,50	27,02	23,56	20,12	16,69	13,27	9,87	6,49	3,12
	158,585	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20,01	16,55	13,11	9,70	6,31	2,95
	170,52	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13,00	9,54	6,13	2,76
Valores M correspondentes ao perfil teórico		+ 72,50	+ 69,00	+ 65,50	+ 62,00	+ 58,50	+ 55,00	+ 51,50	+ 48,00	+ 44,50	+ 41,00	+ 37,50	+ 34,00	+ 30,50	+ 27,00	+ 23,50	+ 20,00	+ 16,50	+ 13,00	+ 9,50	+ 6,00	+ 2,50

QUADRO N.º 8

Elementos a considerar para o paramento de montante da barragem durante a sua construção

Coordenadas P que definem os planos (m)		Desvios Δ M correspondentes aos assentamentos durante a colocação da Barragem em carga e Sobre-elevações Δ C correspondentes aos assentamentos durante a construção da Barragem (coeficiente dos assentamentos K = 0,4) nos pontos do paramento teórico definidos, em diversos planos, por coordenadas M e C																			
	M	+ 72,50	+ 69,00	+ 65,50	+ 62,00	+ 58,50	+ 55,00	+ 51,50	+ 48,00	+ 44,50	+ 41,00	+ 37,50	+ 34,00	+ 30,50	+ 27,00	+ 23,50	+ 20,00	+ 16,50	+ 13,00	+ 9,50	+ 6,00	+ 2,50
	C	0,00	+ 2,80	+ 5,60	+ 8,40	+ 11,20	+ 14,00	+ 16,80	+ 19,60	+ 22,40	+ 25,20	+ 28,00	+ 30,80	+ 33,60	+ 36,40	+ 39,20	+ 42,00	+ 44,80	+ 47,60	+ 50,40	+ 53,20	+ 56,00
+ 8,63	Δ M																			+ 0,01	+ 0,12	+ 0,32
	Δ C																			0,01	0,01	—
16,76	Δ M																	+ 0,01	+ 0,07	0,17	0,31	0,49
	Δ C																	0,02	0,03	0,03	0,02	—
24,89	Δ M														—	+ 0,02	+ 0,06	0,13	0,23	0,35	0,49	0,65
	Δ C														+ 0,01	0,04	0,06	0,07	0,06	0,04	0,02	—
33,02	Δ M												—	+ 0,02	0,06	0,12	0,19	0,28	0,39	0,51	0,65	0,81
	Δ C												+ 0,02	0,07	0,09	0,11	0,11	0,10	0,08	0,05	0,03	—
41,15	Δ M										—	+ 0,02	0,05	0,10	0,16	0,23	0,32	0,42	0,53	0,66	0,80	0,95
	Δ C										+ 0,05	0,10	0,13	0,16	0,16	0,16	0,15	0,12	0,10	0,06	0,03	—
48,27	Δ M						—	+ 0,02	+ 0,04	+ 0,07	0,11	0,16	0,21	0,27	0,34	0,42	0,51	0,61	0,72	0,83	0,95	1,07
	Δ C						+ 0,08	0,15	0,21	0,25	0,27	0,29	0,29	0,28	0,26	0,23	0,20	0,16	0,12	0,07	0,03	—
55,39	Δ M	—	—	+ 0,01	+ 0,03	+ 0,05	0,08	0,11	0,15	0,20	0,25	0,31	0,37	0,44	0,52	0,60	0,68	0,77	0,87	0,97	1,08	1,19
	Δ C	—	+ 0,11	0,20	0,28	0,34	0,39	0,42	0,44	0,45	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,29	0,24	0,19	0,13	0,08	0,04	—
66,27	Δ M	—	—	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15	0,20	0,25	0,31	0,37	0,44	0,52	0,60	0,69	0,78	0,88	0,99	1,10	1,21
	Δ C	—	0,11	0,20	0,28	0,34	0,39	0,42	0,44	0,45	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,29	0,24	0,19	0,13	0,08	0,04	—
77,15	Δ M	—	—	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15	0,20	0,25	0,31	0,38	0,45	0,53	0,61	0,70	0,79	0,89	1,00	1,11	1,22
	Δ C	—	0,11	0,20	0,28	0,34	0,39	0,42	0,44	0,45	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,29	0,24	0,19	0,13	0,08	0,04	—
88,03	Δ M	—	—	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15	0,20	0,25	0,31	0,38	0,45	0,53	0,61	0,70	0,79	0,89	1,00	1,11	1,22
	Δ C	—	0,11	0,20	0,28	0,34	0,39	0,42	0,44	0,45	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,29	0,24	0,19	0,13	0,08	0,04	—
98,91	Δ M	—	—	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15	0,20	0,25	0,31	0,37	0,44	0,52	0,60	0,69	0,78	0,88	0,98	1,09	1,20
	Δ C	—	0,11	0,20	0,28	0,34	0,39	0,42	0,44	0,45	0,45	0,43	0,41	0,38	0,34	0,29	0,24	0,19	0,13	0,08	0,04	—
110,845	Δ M				—	—	0,01	0,03	0,06	0,10	0,14	0,19	0,25	0,31	0,38	0,46	0,54	0,63	0,73	0,84	0,95	1,07
	Δ C				0,02	0,11	0,19	0,25	0,29	0,32	0,33	0,34	0,33	0,31	0,29	0,25	0,21	0,17	0,12	0,08	0,03	—
122,78	Δ M							—	0,01	0,02	0,05	0,09	0,13	0,18	0,25	0,32	0,40	0,49	0,59	0,70	0,81	0,93
	Δ C							0,03	0,11	0,16	0,20	0,23	0,24	0,24	0,23	0,21	0,18	0,15	0,11	0,07	0,03	—
134,715	Δ M										0,01	0,02	0,05	0,08	0,13	0,19	0,26	0,34	0,43	0,54	0,66	0,78
	Δ C										0,04	0,09	0,13	0,15	0,16	0,16	0,14	0,12	0,09	0,06	0,03	—
146,65	Δ M													—	0,02	0,06	0,12	0,19	0,27	0,37	0,49	0,52
	Δ C													0,04	0,07	0,09	0,10	0,09	0,07	0,05	0,03	—
158,585	Δ M																0,01	0,05	0,11	0,20	0,31	0,45
	Δ C																0,03	0,05	0,05	0,04	0,02	—
170,52	Δ M																		—	0,04	0,13	0,26
	Δ C																		—	0,02	0,01	—

QUADRO N.º 9

Cotas adoptadas para o paramento de montante da barragem durante a sua construção

(cotas em planos paralelos ao eixo da barragem, distanciados de 3,50 m)

$S_e = 0{,}60$ m.

$f = 0{,}50$ m.

Forma côncava, em perfil transversal

Somatório dos achatamentos sofridos durante a construção, pelas camadas de enrocamento = 2 % da altura da barragem

Valores de M (m)	Valores de P (m)																
	+ 8,63	+ 16,76	+ 24,89	+ 33,02	+ 41,15	+ 48,27	+ 55,39	+ 66,27	+ 77,15	+ 86,03	+ 98,91	+ 110,845	+ 122,78	+ 134,715	+ 146,65	+ 158,585	+ 170,52
+ 72,50							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
69,00							+ 2,91	+ 2,91	+ 2,91	+ 2,91	+ 2,91						
65,50							5,81	5,81	5,81	5,81	5,81						
62,00							8,70	8,70	8,70	8,70	8,70	+ 8,42					
58,50							11,58	11,58	11,58	11,58	11,58	11,31					
55,00						+ 14,08	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45	14,20					
51,50						16,97	17,31	17,31	17,31	17,31	17,31	17,07	+ 16,83				
48,00						18,84	20,16	20,16	20,16	20,16	20,16	19,94	19,72				
44,50						22,71	23,01	23,01	23,01	23,01	23,01	22,80	22,58				
41,00					+ 25,25	25,56	25,85	25,85	25,85	25,85	25,85	25,66	25,44	+ 25,25			
37,50					28,12	28,42	28,68	28,68	28,68	28,68	28,68	28,49	28,30	28,11			
34,00				+ 30,82	30,97	31,26	31,51	31,51	31,52	31,52	31,51	31,33	31,15	30,97			
30,50				33,69	33,84	34,10	34,34	34,34	34,35	34,35	34,34	34,16	33,99	33,81	+ 33,64		
27,00			+ 36,41	36,54	36,69	36,94	37,17	37,17	37,18	37,18	37,17	37,00	36,83	36,67	36,49		
23,50			39,26	39,41	39,53	39,77	39,98	39,98	39,99	39,99	39,98	39,83	39,67	39,51	39,34		
20,00			42,11	42,27	42,41	42,62	42,80	42,81	42,82	42,82	42,81	42,65	42,51	42,35	42,20	+ 42,04	
16,50		+ 44,83	44,98	45,13	45,27	45,46	45,62	45,63	45,64	45,64	45,63	45,49	45,35	45,20	45,05	44,89	
13,00		47,69	47,85	48,00	48,14	48,31	48,44	48,45	48,46	48,46	48,45	48,32	48,20	48,04	47,89	47,74	+ 47,60
9,50	+ 50,42	50,57	50,73	50,87	51,01	51,16	51,28	51,30	51,31	51,31	51,29	51,17	51,05	50,91	50,75	50,60	50,45
6,00	53,31	53,48	53,63	53,77	53,90	54,02	54,13	54,15	54,16	54,16	54,14	54,02	53,90	53,78	53,64	53,48	53,32
	Cotas do paramento de montante da barragem, por ocasião da sua construção (m.)																

e, no coroamento, pelo ponto sobre-elevado e desviado para montante dos valores correspondentes a esse plano.

10 — Elementos relativos ao paramento de montante da barragem no final da construção

No quadro n.º 6 estão indicados os vários planos para que se procedeu ao cálculo dos elementos relativos ao paramento de montante no final da construção, bem como as coordenadas e as cotas das intersecções desses planos com o coroamento da barragem.

—Por sua vez, no quadro n.º 7 está feito, de harmonia com as correcções estabelecidas para o perfil teórico, o registo das distâncias M, ao plano vertical passando pelo eixo da barragem, dos pontos que, nos planos de separação das camadas de enrocamento, definem a forma que se pretendeu obter para o paramento de montante da barragem no final da construção.

—A diferença entre essas distâncias e os valores correspondentes ao perfil teórico medem, em cada caso, as deslocações consideradas no paramento de montante para atender aos assentamentos durante a colocação da barragem em carga.

11 — Consideração simultânea, durante a construção, das duas espécies de assentamentos

Durante a construção houve que introduzir simultâneamente, no paramento, as correcções correspondentes a uns e outros dos assentamentos referidos.

—No quadro n.º 8 estão reunidas essas correcções, traduzidas pelos desvios Δ M correspondentes aos assentamentos durante a colocação da barragem em carga e pelas sobre-elevações Δ C correspondentes aos assentamentos durante a construção da barragem (para um coeficiente de assentamentos $K = 0{,}4$), elementos esses relativos aos pontos do paramento

Foto 2

Execução da alvenaria do paramento de montante da barragem, vendo-se um dos esquadros utilizados para definir, em planos escolhidos, a cota da parte superior da camada a construir

teórico definidos, em diversos planos, por coordenadas M e C.

—No quadro n.º 9 converteram-se os desvios horizontais Δ M em novas diferenças de cotas, pela consideração da respectiva inclinação do paramento de montante.

—Este ficou pois definido pelas cotas dos pontos de intersecção da sua superfície com duas séries de planos uns paralelos e outros perpendiculares ao eixo da barragem.

12 — Implantação, durante a construção, dos pontos que definem o paramento de montante da barragem

A implantação desses pontos que definem o paramento de montante da barragem foi feita com o emprego de simples esquadros, que deram, numa série de planos normais ao eixo da barragem, as cotas na parte superior das várias camadas a construir.

Foto 3

Outro aspecto do mesmo trabalho, vendo-se em primeiro plano um dos esquadros utilizados na implantação do paramento

—Dada a relativa proximidade dos planos considerados o paramento foi suposto recto, no limite superior de cada camada, entre os pontos definidos por esquadros contíguos.

LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA EM CORRENTE ALTERNADA. REGIME FORÇADO.

PELO ENG.º DIPL.º (I. S. T.) ANTÓNIO A. DE CARVALHO FERNANDES, M. I. R. E
Assistente do I. S. T.

(Conclusão)

C. D. 621.315:621.3.025

5.0 Malhas equivalentes a linhas com parâmetros uniformemente distribuídos.

Consideremos uma linha de comprimento l tendo parâmetros uniformemente distribuídos tal como até aqui tem sido considerado. Vimos já que a impedância da linha, vista da origem, quando a extremidade distante está em circuito aberto, $\dot{Z}_a$, é dada pela equação (3.20). A impedância da linha, vista da origem, quando a extremidade distante está em curto-circuito, $\dot{Z}_c$, é dada por (3.27). A impedância característica da linha $\dot{Z}_o$, dada pela equação (1.45), está ainda relacionada com $\dot{Z}_a$ e $\dot{Z}_c$ pela equação (3.34). Vimos também que a impedância da linha, vista da origem, quando a extremidade distante está terminada por uma impedância $\dot{Z}_r$, qualquer, é dada pela equação (3.19). Definimos também para a linha, a constante de propagação γ e as constantes de enfraquecimento α, e de comprimento de onda β, que, como sabemos, são dadas pelas relações. (1.24), (1.27) e (1.33).

Pretendemos agora determinar os elementos de uma malha com 4 terminais, equivalente a uma linha de transmissão, de parâmetros uniformemente distribuídos, com o comprimento l; os dois terminais de entrada da malha corresponderão aos dois terminais considerados na origem da linha e os dois terminais de saída da malha, aos dois terminais da extremidade distante da linha. Na fig. 8 representamos simbòlicamente uma linha de comprimento l cujos terminais de origem numerámos 1 e 2 e cujos terminais da extremidade distante numerámos 3 e 4. Representamos ainda uma malha com os dois terminais de entrada marcados 1′ e 2′ e os dois terminais de saída, 3′ e 4′.

Diremos que esta malha é equivalente ao troço de linha de comprimento l considerado, se as impedâncias vistas dos pontos

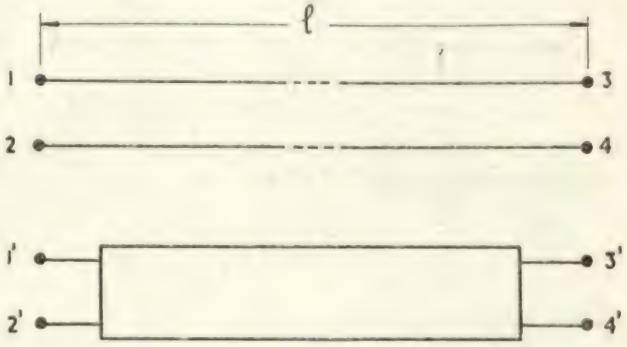


Fig. 8

1 e 2 e 1′ e 2′ forem iguais, quando forem iguais as impedâncias de terminação nos extremos distantes 3 e 4 e 3′ e 4′, quaisquer que elas sejam. Simètricamente, tomando os terminais 3 e 4, e 3′ e 4′ como origem, as impedâncias vistas destes terminais deverão ser iguais quando forem iguais as impedâncias de terminação nos outros extremos 1 e 2, e 1′ e 2′, quaisquer que elas sejam.

5.1 *Malha «T» equivalente ao troço da linha de comprimento l*

Consideremos a malha «T», representada na fig. 9, constituída pelas impedâncias $\dot{Z}_1$, $\dot{Z}_2$ e $\dot{Z}_3$ ligadas como se indica.

Procuremos a condição a que devem obedecer os valores destas impedâncias para que, quando os terminais 3′ e 4′ estejam em circuito aberto, a impedância entre os pontos 1′ e 2′ seja, tal como no caso da linha, dada pela equação (3.20):

$$\dot{Z}_a = \dot{Z}_o \operatorname{cotgh} \gamma l \ .$$

Essa condição será, como se conclui imediatamente

$$\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3 = \dot{Z}_o \operatorname{cotgh} \gamma l \ . \qquad (5.1)$$

Procuremos agora a condição para que, quando os terminais $3'$ e $4'$ estejam em curto circuito, a impedância entre os pontos

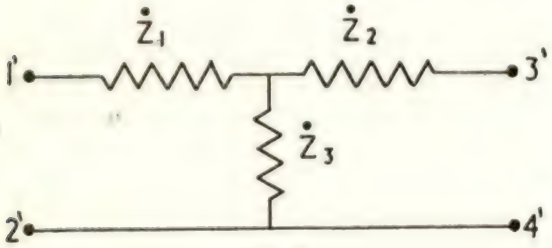


Fig. 9

$1'$ e $2'$ seja, tal como no caso da linha, dada pela equação (3.27):

$$\dot{Z}_c = \dot{Z}_o \operatorname{tgh} \gamma l \ .$$

Essa condição será

$$\dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = \dot{Z}_o \operatorname{tgh} \gamma l \ . \qquad (5.2)$$

Por razões de simetria, teremos ainda

$$\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3 = \dot{Z}_0 \operatorname{cotgh} \gamma l \ , \qquad (5.3)$$

$$\dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3} = \dot{Z}_o \operatorname{tgh} \gamma l \ . \qquad (5.4)$$

As equações (5.1) (5.2) (5.3) e (5.4) podem reduzir-se a:

$$\dot{Z}_1 + \dot{Z}_3 = \dot{Z}_0 \operatorname{cotgh} \gamma l \ ,$$

$$\dot{Z}_1 + \frac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_3}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3} = \dot{Z}_o \operatorname{tgh} \gamma l \ ,$$

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 \ .$$

Resolvendo este sistema, obteremos fàcilmente as seguintes equações

$$\dot{Z}_1 = \dot{Z}_2 = \dot{Z}_o \operatorname{tgh} \left(\frac{\gamma l}{2} \right) , \qquad (5.5)$$

$$\dot{Z}_3 = \frac{Z_0}{\operatorname{sh} \gamma l} \ . \qquad (5.6)$$

Vejamos que, neste caso, é verificada a condição geral considerada necessária para satisfazer o conceito referido de equivalência da malha e do troço da linha. Seja então a malha representada na fig. 10, cujas componentes obedecem às equações (5.5) e (5.6), que supomos terminada por uma impedância $\dot{Z}_r$ qualquer.

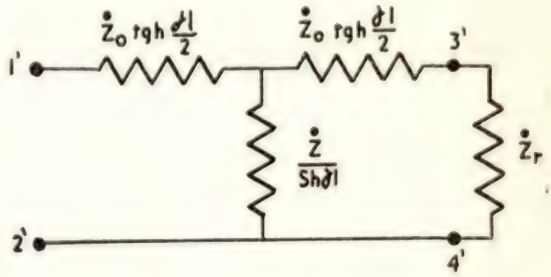


Fig. 10

A impedância vista dos pontos $1'$ e $2'$ será então:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_o \operatorname{tgh} \frac{\gamma l}{2} + \frac{\dfrac{\dot{Z}_o}{\operatorname{sh} \gamma l} \left(\dot{Z}_o \operatorname{tgh} \dfrac{\gamma l}{2} + \dot{Z}_r \right)}{\dfrac{\dot{Z}_o}{\operatorname{sh} \gamma l} + \dot{Z}_o \operatorname{tgh} \dfrac{\gamma l}{2} + \dot{Z}_r} \ .$$

Simplificando esta expressão, concluiremos

$$\dot{Z} = \dot{Z}_o \frac{\dot{Z}_o \operatorname{tgh} \gamma l + \dot{Z}_r}{\dot{Z}_o + \dot{Z}_r \operatorname{tgh} \gamma l} \ ,$$

expressão que coincide com a equação (3.19) válida para o caso da linha de parâmetros uniformemente distribuidos. Está portanto verificada, com toda a generalidade, a condição de equivalência estabelecida.

Suponhamos que um troço de linha de comprimento l e uma malha equivalente (de acordo com o conceito de equivalência acima referido) são terminadas por impedâncias de carga respectivamente iguais, quaisquer que elas sejam.

É fácil mostrar que, nestas condições, se aplicarmos na origem da linha e na entrada

FREDERICK PARKER, LTD.

LEICESTER GRÃ-BRETANHA

Fornecedores das instalações de lavagem e seleccionamento de cascalho para as obras da Barragem do Castelo do Bode (Hidro Eléctrica do Zêzere), instalações de britagem, seleccionamento, ensilagem e betonagem para a Barragem Covão do Meio (Hidro Eléctrica da Serra da Estrela), instalações de

britagem e seleccionamento da Barragem das Mabubas, em Angola, e de diversas máquinas à Junta Autónoma das Estradas, Direcção Geral da Aeronáutica Civil, Câmaras Municipais de Lisboa e Beja, Direcção Hidráulica do Mondego, e a numerosos construtores civis e empreiteiros de Obras — Públicas —

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

F. NÓBREGA DE LIMA, L.DA

SEDE
Avenida 24 de Julho, 1, 2.º D.
LISBOA
Tel. 2 2192-2 2193
3 2419

SALÃO DE EXPOSIÇÕES
Largo de Santos, 5
LISBOA

DELEGAÇÃO
Rua Sá da Bandeira, 562, 3.º
PORTO
Tel. 2 2553

TOPOGRAFIA GERAL

Pelo Eng.º CARVALHO XERÉZ

VOLUME I

Generalidades. Representação do terreno
Leitura e utilização das cartas
Medição de distâncias. Medição de ângulos
Nivelamento
Apoio dos levantamentos
Métodos clássicos de levantamento

VOLUME II

Levantamentos subterrâneos
Métodos fotogramétricos de levantamento
Erros e compensações de observações
Cartografia
Astronomia geodésica. Complementos de geodesia
Aplicações

PREÇO DE CADA VOLUME ENCADERNADO

150$00

Desconto de 10 % aos nossos assinantes

Edição da TÉCNICA

da malha a mesma tensão, serão iguais, respectivamente, nos dois casos a corrente na origem da linha e a corrente na entrada da malha; serão ainda iguais entre si as correntes nas duas impedâncias de terminação.

5.2 *Malha «π» equivalente a um troço de linha de comprimento l*

Consideremos uma malha «π» formada pelas impedâncias Z', Z'' e Z''' ligadas como se indica na fig. 11.

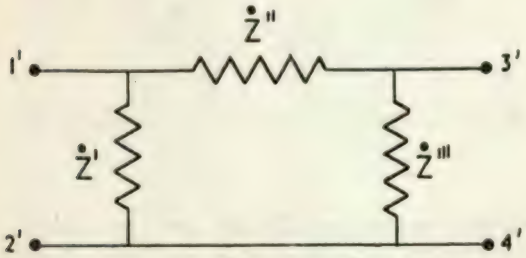


Fig. 11

As condições de equivalência para os casos de circuito aberto e de curto circuito serão agora

$$\frac{\dot{Z}'(\dot{Z}'' + \dot{Z}''')}{\dot{Z}' + \dot{Z}'' + \dot{Z}'''} = \dot{Z}_0 \operatorname{cotgh} \gamma l\,, \qquad (5.9)$$

$$\frac{\dot{Z}'\,\dot{Z}''}{\dot{Z}' + \dot{Z}''} = \dot{Z}_0 \operatorname{tgh} \gamma l\,, \qquad (5.10)$$

$$\dot{Z}' = \dot{Z}'''\,. \qquad (5.11)$$

Este sistema, resolvido, levaria então aos seguintes valores

$$\dot{Z}' = \dot{Z}''' = \dot{Z}_0 \frac{\operatorname{sh} \gamma l}{\operatorname{ch} \gamma l - 1} = \dot{Z}_0 \operatorname{cotgh} \frac{\gamma l}{2}\,, \qquad (5.12)$$

$$\dot{Z}'' = \dot{Z}_0 \operatorname{sh} \gamma l\,. \qquad (5.13)$$

Para uma malha nestas condições, como agora se representa na fig. 12, terminada por uma impedância $\dot{Z}_r$, qualquer, também a impedância vista dos pontos 1 e 2 será dada, por uma expressão que coincide com a equação (3.19) válida para o caso da linha e portanto também, neste caso, se verifica com toda a generalidade a condição de equivalência estabelecida.

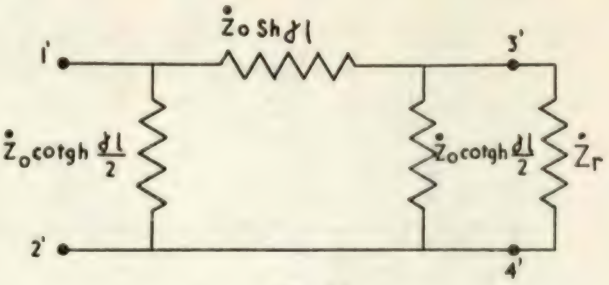


Fig. 12

6.0 Analogia entre uma linha com parâmetros uniformemente distribuídos e uma estrutura periódica de malhas iguais com parâmetros concentrados.

Nos capítulos 1.0, 2.0, 3.0 e 4.0 estudámos as linhas de transmissão de parâmetros uniformemente distribuídos, sem precisarmos fazer qualquer referência à analogia dessas linhas com estruturas periódicas de elementos de parâmetros concentrados. É assim evidente que essa analogia não precisa ser considerada para obter as equações e estabelecer os conceitos fundamentais da teoria das linhas de transmissão.

Tem contudo, sob o ponto de vista prático, quando interesse essa analogia, pois que será possível construir no Laboratório estruturas periódicas de dimensões reduzidas, análogas a linhas de grandes dimensões cujo estudo laboratorial não seria fácil realizar. Desta forma se poderão ensaiar estruturas periódicas, que poderemos designar por *linhas artificiais,* obtendo assim conclusões de interesse para o caso das linhas reais.

Faremos, no estudo que a seguir se apresenta, especial referência a estruturas de malhas «T» e a estruturas de malhas «π», as mais frequentemente utilizadas em estudos desta natureza. Definiremos, para estes casos, os conceitos fundamentais de impedância caraterística, constante de propagação, constante de enfraquecimento e constante de comprimento de onda e estudaremos as equações de variação da tensão

e da corrente ao longo destas estruturas periódicas.

6.1 *Estrutura periódica de malhas «T».*

Consideremos uma estrutura periódica de malhas «T» simétricas, tal como se indica na fig. 13.

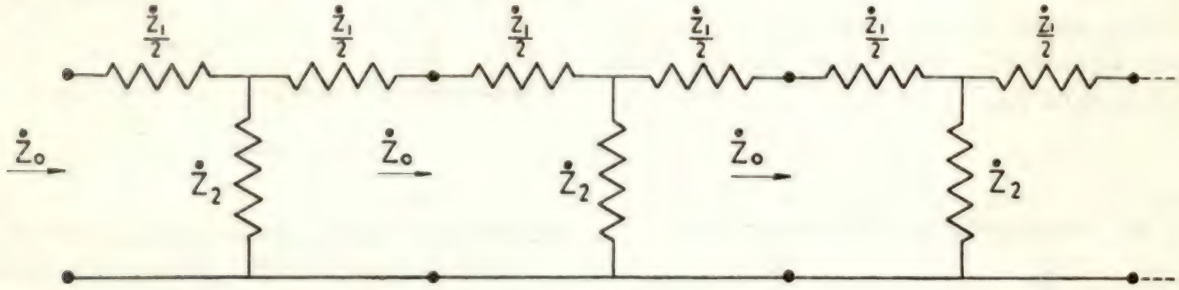


Fig. 13

Para efeitos de simplicidade de exposição, consideremos que se trata de uma estrutura infinita e vamos, neste caso, definir alguns conceitos fundamentais relativos à transmissão de energia eléctrica ao longo de uma estrutura desta natureza. Designaremos por *impedância característica* desta estrutura a impedância vista nos terminais de origem que representaremos por $\dot{Z}_0$. O seu valor será o mesmo se omitirmos a primeira malha T (ou um número finito de malhas T), e será portanto fácil de determinar aten-

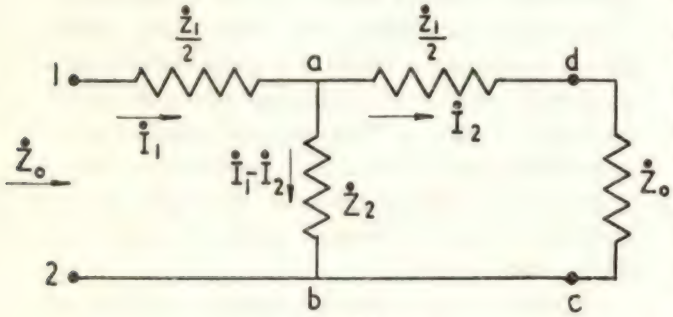


Fig. 14

dendo a que, de acordo com a fig. 14, se concluirá

$$\dot{Z}_0 = \frac{\dot{Z}_1}{2} + \frac{\dot{Z}_2\left(\frac{\dot{Z}_1}{2} + \dot{Z}_0\right)}{\dot{Z}_2 + \frac{\dot{Z}_1}{2} + \dot{Z}_0}.$$

O valor de $\dot{Z}_0$ será então

$$\dot{Z}_0 = \frac{1}{2}\sqrt{\dot{Z}_1^2 + 4\,\dot{Z}_1\,\dot{Z}_2}\,. \qquad (6.1)$$

O conceito de impedância característica desta estrutura periódica infinita é perfeitamente correspondente ao conceito de impedância característica da linha infinita.

Com efeito ela representa o cociente da amplitude complexa da tensão pela amplitude complexa da corrente, em quaisquer pontos de separação das malhas ao longo da estrutura, no caso da estrutura ser infinita ou ainda, com maior generalidade, no caso de as condições de terminação da estrutura serem tais que não tenha lugar o fenómeno da reflexão.

A correspondência entre o conceito de impedância característica de uma estrutura periódica e o conceito de impedância característica da linha de parâmetros uniformemente distribuídos é perfeitamente nítida se considerarmos a linha como uma sucessão de malhas T, cada uma delas equivalente a um troço infinitesimal de comprimento dx da linha. A impedância $\dot{Z}_1$, para estas malhas seria então $(R + j\omega L)\,dx$ enquanto que a impedância $\dot{Z}_2$ seria $\frac{1}{(G + j\omega C)\,dx}$.

Substituindo estes valores na equação (6.1) e a menos de infinitésimos de ordem superior à primeira, obteríamos imediatamente a equação (1.45)

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}},$$

deduzida para o caso da linha de parâmetros uniformemente distribuídos.

Continuemos a admitir que a estrutura que estamos considerando é tal que não tem lugar o fenómeno da reflexão. Define-se *constante de propagação* da estrutura como o logaritmo neperiano da relação das amplitudes complexas das correntes fluindo de duas malhas consecutivas.

Da aplicação da Lei de Indução ao circuito fechado [a b c d] da fig. 14 resulta a seguinte equação vectorial

$$\dot{I}_2\left(\frac{\dot{Z}_1}{2}+\dot{Z}_0\right)-(\dot{I}_1-\dot{I}_2)\,\dot{Z}_2=0\ ,$$

de onde concluiremos

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}=\frac{\frac{\dot{Z}_1}{2}+\dot{Z}_2+\frac{1}{2}\sqrt{\dot{Z}_1^2+4\,\dot{Z}_1\dot{Z}_2}}{\dot{Z}_2}\ . \qquad (6.2)$$

De acordo com a definição dada de *constante de propagação* teremos imediatamente

$$\gamma=\log\frac{\dot{I}_n}{\dot{I}_{n+1}}=\log\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2}=$$

$$=\log\frac{\frac{\dot{Z}_1}{2}+\dot{Z}_2+\frac{1}{2}\sqrt{\dot{Z}_1^2+4\,\dot{Z}_1\dot{Z}_2}}{\dot{Z}_2}\ . \qquad (6.3)$$

Se designarmos por

$$A=1+\frac{\dot{Z}_1}{2\,\dot{Z}_2}\ , \qquad (6.4)$$

veremos que o valor de γ poderá ser dado pelas seguintes expressões

$$\gamma=\log\left(A+\sqrt{A^2-1}\right)\ , \qquad (6.5)$$

$$\gamma=\arg\operatorname{ch}A\ , \qquad (6.6)$$

$$\gamma=\arg\operatorname{sh}\sqrt{A^2-1}\ , \qquad (6.7)$$

$$\gamma=\arg\operatorname{tgh}\sqrt{\frac{A^2-1}{A}}\ . \qquad (6.8)$$

Se analisarmos a correspondência entre os conceitos de constante de propagação no caso de linhas e no caso de estruturas periódicas de malhas, verificamos que estes não se equivalem perfeitamente. Com efeito, no primeiro caso a propagação é um fenómeno contínuo e a constante γ define-se em relação às correntes fluindo em dois pontos cuja distância entre si é igual à unidade de comprimento de linha; no segundo caso, o fenómeno da propagação é descontínuo em virtude de as malhas serem compostas de elementos de parâmetros concentrados e, neste caso, a constante de propagação define-se em relação às correntes fluindo de duas malhas consecutivas. É evidente que os conceitos são todavia análogos.

Tal como no caso das linhas de parâmetros uniformemente distribuídos, a constante de propagação γ é, em geral, um número complexo cuja parte real α se designa por *constante de enfraquecimento* e cujo coeficiente da parte imaginária β se designa por *constante de fase* ou *constante de comprimento de onda* da estrutura periódica. Será portanto ainda

$$\gamma=\alpha+j\beta \qquad (6.9)$$

Os conceitos de impedância característica $\dot{Z}_0$ e de constante de propagação γ foram definidos, para o caso de a estrutura periódica ser infinita ou terminada por uma impedância igual a $\dot{Z}_0$. Nestas condições não tem lugar o fenómeno de reflexão e, como sabemos, haverá apenas as ondas incidentes da tensão e da corrente ao longo da estrutura. É contudo evidente que as definições dadas se aplicam, anàlogamente ao que se passa nas linhas, quer à onda incidente quer à onda reflectida, no caso geral de a estrutura periódica ser finita e estar terminada por uma impedância qualquer.

Consideremos agora uma estrutura periódica infinita e suponhamos que se aplica na sua origem uma tensão alternada sinusoidal de amplitude complexa $\dot{E}_k$ e frequência ω. Se for n o número de malhas contado a partir da origem, *as equações de variação da*

corrente e da tensão ao longo da estrutura serão respectivamente

$$i\,(n,\,t) = \frac{\dot{E}_k}{\dot{Z}_o}\,\varepsilon^{-\gamma n}\,\varepsilon^{j\omega t} \qquad (6.10)$$

$$e\,(n,\,t)) = \dot{E}_k\,\varepsilon^{-\gamma n}\,\varepsilon^{j\omega t}\,. \qquad (6.11)$$

Nessas condições haverá apenas a onda incidente de tensão e de corrente.

Consideremos uma estrutura periódica de malhas iguais, em número finito, terminada por uma impedância $\dot{Z}_r$ qualquer; neste caso, anàlogamente ao que se passa nas linhas reais, poderemos considerar uma onda incidente e uma onda reflectida quer para a tensão quer para a corrente, quando uma tensão alternada sinusoidal for aplicada na origem da estrutura. As *equações de variação da corrente e da tensão ao longo da estrutura* serão agora dadas pelas equações

$$i\,(n,\,t) = (c_1\,\varepsilon^{\gamma n} + c_2\,\varepsilon^{-\gamma n})\,\varepsilon^{j\omega t} \qquad (6.12)$$

$$e\,(n,\,t) = (c_3\,\varepsilon^{\gamma n} + c_4\,\varepsilon^{-\gamma n})\,\varepsilon^{j\omega t} \qquad (6.13)$$

Os valores das constantes c_1, c_2, c_3, e c_4 não são independentes entre si, verificando-se as relações

$$c_3 = -\,c_1\,\dot{Z}_o, \qquad (6.14)$$

$$c_4 = c_2\,\dot{Z}_o, \qquad (6.15)$$

em que $\dot{Z}_o$ representa a impedância característica da estrutura. Os seus valores dependerão da tensão imposta na origem, das condições de terminação e dos parâmetros das malhas da estrutura.

Se supusermos que a estrutura tem N malhas e se designarmos por $\dot{E}_k$ e $\dot{I}_k$ respectivamente as amplitudes complexas da tensão e da corrente na origem da estrutura e por $\dot{I}_N$ e $\dot{E}_N$ respectivamente as amplitudes complexas da tensão e da corrente na terminação da estrutura, isto é, depois da malha de ordem N, veremos fàcilmente que se verificam as seguintes equações:

$$\dot{I}_k = c_2 + c_1 \qquad (6.16)$$

$$\dot{E}_k = \dot{Z}_o\,(c_2 - c_1) \qquad (6.17)$$

$$\dot{I}_N = c_2\,\varepsilon^{-\gamma N} + c_1\,\varepsilon^{\gamma N} \qquad (6.18)$$

$$\dot{E}_N = c_2\,\dot{Z}_o\,\varepsilon^{-\gamma N} - c_1\,\dot{Z}_o\,\varepsilon^{\gamma N} \qquad (6.19)$$

que, como é evidente, são análogas as equações (3.3), (3.4), (3.7) e (3.8) deduzidas para o caso das linhas reais. Destas equações poderão fàcilmente obter-se os valores c_1 e c_2 que serão dadas por equações análogas às equações (3.5) e (3.6) ou (3.9) e (3.10) as quais apresentámos para o caso das linhas reais.

Também, para o caso das estruturas periódicas de malhas iguais, se pode definir o conceito de *Coeficiente de Reflexão,* como sendo o cociente dos valores das amplitudes complexas da onda reflectida e da onda incidente da tensão para n = N, isto é, na extremidade de terminação da estrutura. O seu volor será dado pelas relações

$$K = -\frac{c_1}{c_2}\,\varepsilon^{2\gamma N} = \frac{c_3}{c_4}\,\varepsilon^{2\gamma N} = \frac{\dot{Z}_r - \dot{Z}_o}{\dot{Z}_r + \dot{Z}_o}\,. \qquad (6.20)$$

Continuemos a considerar que a estrutura tem N malhas e é terminada por uma impedância $\dot{Z}_r$, qualquer. A *impedância* $\dot{Z}$, *vista da origem*, será agora dada pela seguinte equação:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_o\,\frac{\dot{Z}_o\,\mathrm{sh}\,\gamma\,N + \dot{Z}_r\,\mathrm{ch}\,\gamma\,N}{\dot{Z}_o\,\mathrm{ch}\,\gamma\,N + \dot{Z}_r\,\mathrm{sh}\,\gamma\,N}\,, \qquad (6.21)$$

$$\dot{Z} = \dot{Z}_o\,\frac{\dot{Z}_r + \dot{Z}_o\,\mathrm{tgh}\,\gamma\,N}{\dot{Z}_r\,\mathrm{tgh}\,\gamma\,N + \dot{Z}_o}\,.$$

A *impedância, em circuito aberto,* desta estrutura será

$$\dot{Z}_a = \dot{Z}_o\,\mathrm{cotgh}\,\gamma\,N\,. \qquad (6.22)$$

A *impedância, em curto-circuito,* será

$$\dot{Z}_c = \dot{Z}_0 \operatorname{tgh} \gamma N \,. \qquad (6.23)$$

Continuará ainda a verificar-se a relação, vista anteriormente, entre $\dot{Z}_0$, $\dot{Z}_a$ e $\dot{Z}_c$

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{\dot{Z}_a \dot{Z}_c} \,. \qquad (6.24)$$

e ainda

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{\dot{Z}_1 \dot{Z}_2^2}{\dot{Z}_1 + 2\dot{Z}_2}} \,. \qquad (6.25)$$

Tal como anteriormente, a *impedância característica* significa físicamente o cociente das amplitudes complexas das ondas incidentes de tensão e de corrente ao longo da estrutura.

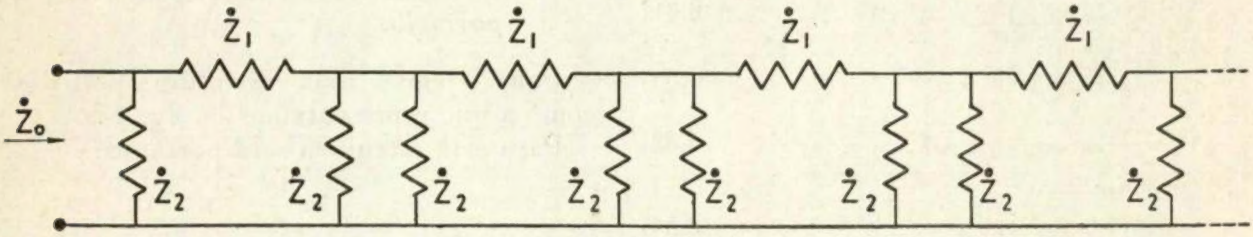


Fig. 15

6.2 *Estrutura periódica de malhas «π»*

Consideremos agora uma estrutura periódica de malhas «π» simétricas, tal como se indica na fig. 15.

Para efeitos de simplicidade de exposição vamos considerar, tal como fizemos em 6.1, que se trata de uma estrutura infinita; nestas condições definimos *impedância característica* $\dot{Z}_0$ como a impedância vista da origem. O seu valor será o mesmo se omitirmos a primeira malha π (ou num número

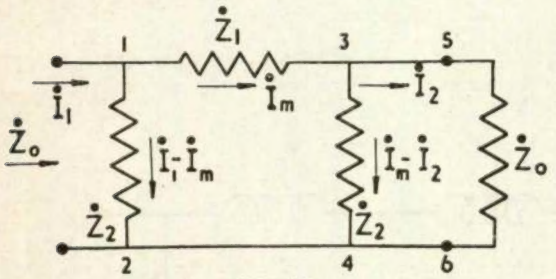


Fig. 16

finito de malha π) e, de acordo com a fig. 16, poderemos concluir

$$\dot{Z}_0 = \frac{\dot{Z}_2 \left(\dot{Z}_1 + \dfrac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_0}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0} \right)}{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dfrac{\dot{Z}_2 \dot{Z}_0}{\dot{Z}_2 + \dot{Z}_0}}$$

O conceito de *constante de propagação* é definido de maneira análoga ao caso visto da estrutura de malhas T. Considerando a fig. 16 e aplicando a Lei de Indução ao circuito fechado [1342] obter-se-à a seguinte equação vectorial

$$\dot{I}_m \dot{Z}_1 + (\dot{I}_m - \dot{I}_2) \dot{Z}_2 - (\dot{I}_1 - \dot{I}_m) \dot{Z}_2 = 0 \,. \qquad (6.26)$$

Da aplicação da Lei de Indução ao circuito fechado [3564] obteremos a equação vectorial

$$\dot{I}_2 \dot{Z}_0 - (\dot{I}_m - \dot{I}_2) \dot{Z}_2 = 0 \,. \qquad (6.27)$$

Das equações (6.26) e (6.27) poderá obter-se, tendo ainda em consideração o valor de $\dot{Z}_0$ dado por (6.25), a seguinte equação

$$\frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} = \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \sqrt{\dot{Z}_1 (\dot{Z}_1 + 2\dot{Z}_2)}}{\dot{Z}_2} \,. \qquad (6.28)$$

A *constante de propagação* será portanto definida pela expressão

$$\gamma = \log \frac{\dot{I}_n}{\dot{I}_{n+1}} = \log \frac{\dot{I}_1}{\dot{I}_2} =$$

$$= \log \frac{\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \sqrt{\dot{Z}_1 (\dot{Z}_1 + 2\dot{Z}_2)}}{\dot{Z}_2} \,. \qquad (6.29)$$

Se designarmos por

$$A' = 1 + \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} \qquad (6.30)$$

obteremos para γ expressões idênticas às equações (6.5) a (6.8) deduzidas para as estruturas de malhas T; essas expressões serão agora

$$\gamma = \log (A' + \sqrt{A'^2 - 1}\ , \qquad (6.31)$$

$$\gamma = \arg \operatorname{ch} A'\ , \qquad (6.32)$$

$$\gamma = \arg \operatorname{sh} \sqrt{A'^2 - 1}\ , \qquad (6.33)$$

$$\gamma = \arg \operatorname{tgh} \sqrt{\frac{A'^2 - 1}{A'^2}}\ , \qquad (6.34)$$

É ainda evidente que as equações (6.9) a (6.24), referidas para o caso das estruturas de malhas T, continuam também a ser válidas para o caso das estruturas de malhas π.

7.0 Aplicações práticas do estudo das estruturas periódicas de malhas iguais

Como já anteriormente dissemos, o estudo das estruturas periódicas de malhas iguais, com parâmetros concentrados, tem especial interesse por podermos realizar no Laboratório ensaios sobre «linhas artificiais» com vista a tirar conclusões sobre linhas reais análogas que, pelas suas dimensões, não seria prático ensaiar no Laboratório. As conclusões de ordem geral obtidas no capítulo anterior são susceptíveis de ser particularizadas para casos concretos de grande interesse para as aplicações práticas correntes.

Vamos fazer incidir o nosso estudo sobre o caso de estruturas periódicas de malhas π considerando que as impedâncias em série são dadas por bobinas e as impedâncias em derivação dadas por condensadores.

7.1 *Estrutura periódica finita de N malhas «π», sem perdas, utilizando bobinas nas impedâncias em série e condensadores nas impedâncias em paralelo.*

Consideremos uma estrutura periódica como a que representamos na fig. 17.

Para esta estrutura será portanto:

$$\dot{Z}_1 = j\omega L \qquad (7.1)$$

$$\dot{Z}_2 = -j\frac{2}{\omega C} \qquad (7.2)$$

A expressão da *impedância característica* desta estrutura será, substituindo na equação (6.25), os valores de $\dot{Z}_1$ e $\dot{Z}_2$ dados por (7.1) e (7.2)

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}\ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{4}\omega^2 L C}}\ . \qquad (7.3)$$

Utilizemos agora, para efeitos de simplificação, as seguintes notações

$$B = \sqrt{\frac{L}{C}}\ . \qquad (7.4)$$

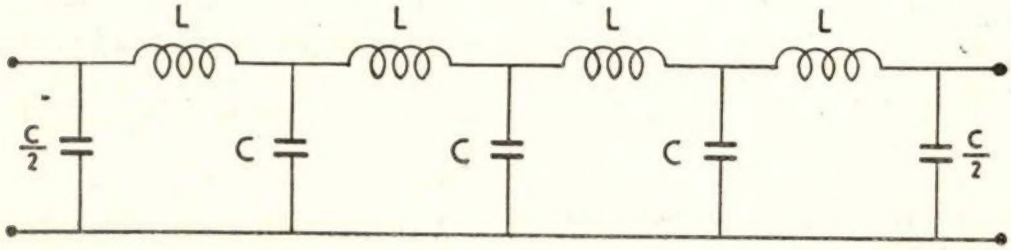


Fig. 17

$$\omega_l = \frac{2}{\sqrt{L C}}\ . \qquad (7.5)$$

$$F = \frac{\omega}{\omega_l}\ . \qquad (7.6)$$

A expressão da *impedância característica*, dada pela equação (7.3) pode agora escrever-se

$$\dot{Z}_0 = \frac{B}{\sqrt{1-F^2}} \, . \qquad (7.7)$$

Vejamos qual é a expressão da *constante de propagação* desta estrutura; o seu valor será dado pelas equações (6.29) e (6.31) a (6.34). O valor de A', defenido pela equação (6.30) será, neste caso,

$$A' = 1 + \frac{\dot{Z}_1}{Z_2} = 1 - \frac{1}{2}\omega^2 L C = 1 - 2F^2 \, . \qquad (7.8)$$

Atendendo a que será $A' = \text{ch}\,\gamma$ e portanto

$$A' = \text{ch}\,\gamma = 1 + 2\,\text{sh}^2 \frac{\gamma}{2} \, , \qquad (7.9)$$

conclui-se imediatamente, da comparação das equações (7.8) e (7.9), que

$$\text{sh}\,\frac{\gamma}{2} = j\,F \, , \qquad (7.10)$$

expressão que nos permitirá calcular com facilidade o valor de γ. Se considerarmos γ decomposto na sua parte real e na sua parte imaginária $\gamma = \alpha + j\,\beta$, a equação (7.10) poderá transformar-se em

$$\text{sh}\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2} + j\,\text{ch}\frac{\alpha}{2}\,\text{sen}\frac{\beta}{2} = j\,F \, , \qquad (7.11)$$

de onde se concluirá

$$\text{sh}\,\frac{\alpha}{2}\cos\frac{\beta}{2} = 0 \qquad (7.12)$$

$$\text{ch}\,\frac{\alpha}{2}\,\text{sen}\,\frac{\beta}{2} = F \, . \qquad (7.13)$$

É agora fácil de verificar que, no caso de ser $F < 1$, isto é, no caso de ser $\omega < \omega_l$ o sistema das equações (7.12) e (7.13) é satisfeito pelos seguintes valores

$$\alpha = 0 \qquad (7.14)$$

$$\text{sen}\,\frac{\beta}{2} = F \qquad (7.15)$$

que nos definem os valores da *constante de enfraquecimento* α e da *constante de comprimento de onda* β, isto é, o valor da *constante da propagação* que procurávamos obter.

As conclusões obtidas mostram-nos que, para valores de $\omega < \omega_l$ a constante de enfraquecimento α é nula e que, portanto, a constante de propagação se reduz à sua parte imaginária. Designaremos ω_l por *frequência angular limite* da estrutura que estamos considerando.

Se supusermos que ω é muito pequeno em relação a ω_l e que portanto o valor de F é muito inferior à unidade a equação (7.15) poderá transformar-se e obteremos assim:

$$\frac{\beta}{2} \cong F \text{ e portanto } \beta \cong 2\,F \qquad (7.16)$$

A constante de comprimento de onda poderá portanto, nestas condições, ser determinada com toda a facilidade.

Vejamos agora qual é a expressão da *impedância* $\dot{Z}$ da estrutura, *vista da origem*, quando estiver ligada uma impedância $\dot{Z}_r$ qualquer, na extremidade de terminação da estrutura. Tendo em vista a equação (6.21) e considerando $\omega < \omega_l$ teremos portanto:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_0 \frac{j\,\dot{Z}_0\,\text{tg}\,\beta N + \dot{Z}_r}{\dot{Z}_0 + j\,\dot{Z}_r\,\text{tg}\,\beta N} \, . \qquad (7.17)$$

No caso de a *estrutura estar em circuito aberto*, a impedância vista da origem será, se se verificar a equação (7.16)

$$\dot{Z}_a = -j\,\dot{Z}_0\,\text{cotg}\,\beta N = -j\frac{B}{\sqrt{1-F^2}}\,\text{cotg}\,2\,F\,N \, . \qquad (7.18)$$

No caso de a *estrutura estar em curto-circuito* e nas condições anteriormente consideradas, a impedância vista da origem será

$$\dot{Z}_c = j\,\dot{Z}_0\,\text{tg}\,\beta N = j\frac{B}{\sqrt{1-F^2}}\,\text{tg}\,2\,F\,N \qquad (7.19)$$

7.2 *Estrutura periódica finita de N malhas «π», utilizando bobinas com resistência nas impedâncias em série e condensadores sem perdas nas impedâncias em paralelo*

Na figura 18 representamos uma estrutura deste tipo.

Vejamos agora qual é a expressão da *Constante de Propagação* da estrutura; o seu valor será dado pelas equações (6.29) e (6.31) a (6.34). O valor de A' definido pela equação (6.30) será, neste caso,

$$A' = 1 + \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2} = 1 - 2\,F^2\,(1 - j\,\delta). \quad (7.25)$$

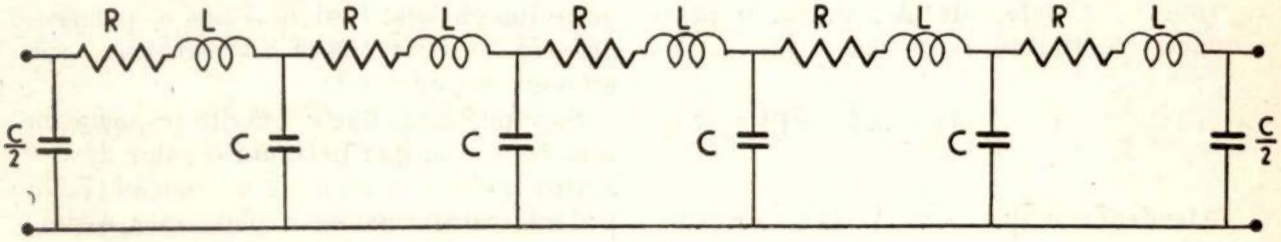


Fig. 18

Será neste caso

$$\dot{Z}_1 = R + j\,\omega\,L \quad (7.20)$$

$$\dot{Z}_2 = -j\,\frac{2}{\omega\,C} \quad (7.21)$$

Designemos por δ a relação

$$\delta = \frac{R}{\omega\,L} \quad (7.22)$$

A expressão da *impedância característica* desta estrutura será, substituindo na equação (6.25) os valores de $\dot{Z}_1$ e $\dot{Z}_2$ dados por (7.20) e (7.21) e tendo em consideração a equação (7.22), dada pela relação

$$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{L}{C}\,\frac{1 - j\,\delta}{1 - \frac{1}{4}\,\omega^2\,L\,C\,(1 - j\,\delta)}}. \quad (7.23)$$

Conservemos a definição dos parâmetros B, ω_l e F dados pelas equações (7.4), (7.5) e (7.6). A expressão aproximada da impedância característica $\dot{Z}_0$, para o caso de serem δ e F muito pequenos em relação à unidade, será, por transformação de (7.23)

$$\dot{Z}_0 \cong \frac{B}{\sqrt{1 - F^2}}\left(1 - j\,\frac{\delta}{2}\right). \quad (7.24)$$

Atendendo a que será $A' = \mathrm{ch}\,\gamma$ e portanto

$$A' = \mathrm{ch}\,\gamma = 1 + 2\,\mathrm{sh}^2\,\frac{\delta}{2}, \quad (7.26)$$

conclui-se, imediatamente, da comparação das equações (7.25) e (7.26) e supondo δ muito pequeno, em relação à unidade,

$$\mathrm{sh}\,\frac{\gamma}{2} \cong j\,F\left(1 - j\,\frac{\delta}{2}\right) = j\,F + F\,\frac{\delta}{2}. \quad (7.27)$$

Se considerarmos a constante de propagação γ decomposta nas suas partes real e imaginária $\gamma = \alpha + j\,\beta$, a equação (7.27) poderá transformar-se em

$$\mathrm{sh}\,\frac{\alpha}{2}\,\cos\frac{\beta}{2} + j\,\mathrm{ch}\,\frac{\alpha}{2}\,\mathrm{sen}\,\frac{\beta}{2} = F\,\frac{\delta}{2} + j\,F. \quad (7.28)$$

Atendendo a que o enfraquecimento dado por esta estrutura, nas condições que estamos considerando, de ser $\delta << 1$, é muito pequeno, podemos tomar aproximadamente:

$$\mathrm{ch}\,\frac{\alpha}{2} \cong 1$$

$$\mathrm{sh}\,\frac{\alpha}{2} \cong \frac{\alpha}{2}.$$